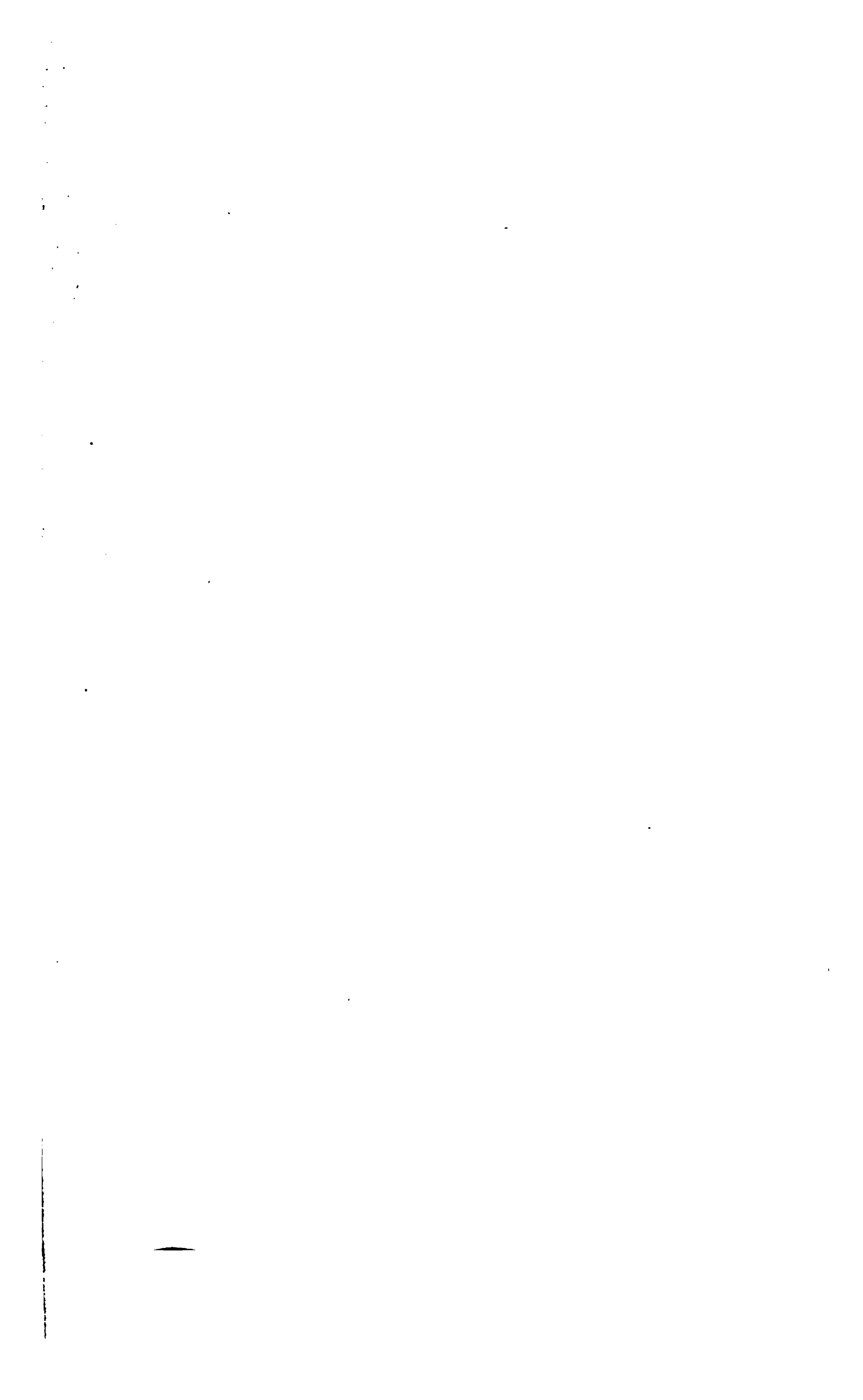


# ANNALES

# DES MINES.

# COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

Cordier, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, *président*.

Dufrénoy, insp. gén., directeur de l'École des mines, membre de l'Acad. des Sciences, profess. de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle.

Élie de Beaumont, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

Thirria, inspecteur général.

Combes, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences, profess. d'exploitation des mines.

Juncker, inspecteur général.

Levallois, inspecteur général.

MM.

Marrot, inspecteur général.

De Boureuille, ingénieur en chef, directeur des mines, membre du conseil général.

Le Play, ingénieur en chef, professeur de métallurgie.

De Sénarmont, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

De Villeneuve, ingén., professeur de législation des mines.

Piérard, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.

Rivot, ingén., prof. de docimasie.

De Cheppe, ancien chef de la division des mines.

Couche, ingénieur, professeur de chemins de fer et de construction, *secrétaire de la commission*.

Delesse, ingén., *secrétaire-adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* Annales des Mines, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

**Avis de l'Éditeur.**

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Cᵉ, RUE RACINE, 26.

# ANNALES
# DES MINES

OU

## RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RAPPORTENT;

RÉDIGÉES

*Par les Ingénieurs des Mines,*

ET PUBLIÉES

Sous l'autorisation du ministre des Travaux publics.

---

## CINQUIÈME SÉRIE.

---

TOME IV.

---

PARIS.

CARILIAN-GŒURY ET V^{ve} DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

1853

# BIBLIOGRAPHIE.

## DEUXIÈME SEMESTRE DE 1852.

## FRANCE.

P. PRALY. Études théoriques et pratiques sur les constructions des voûtes biaises. In-8 avec 3 planches.—Borrani et Droz, à Paris.

M. LEMAÎTRE. Mémoire sur les causes des mouvements des corps planétaires, etc. In-8 de 1 feuille 1/2. —Milliet, à Bourges.

A. BONY. Tables des surfaces de déblai et de remblai, etc. In-8 de 24 feuilles et 1 planche. — Carilian-Gœury, à Paris.

C. JULLIEN. Traité élémentaire du calorique latent. In-4 de 7 feuilles. — Bouchard-Huzard, à Paris.

A. LE SECQ. Interpolation des coordonnées lunaires, à l'usage des astronomes et des géographes. In-8 de 1 feuille.— Mallet-Bachelier, à Paris.

E. ROBIN. Loi nouvelle régissant les différentes propriétés chimiques, etc. In-8 de 3 feuilles 1/2. — Baillière, à Paris.

LAMAIRESSE. Manuel de drainage. In-12 de 4 feuilles. — Milliet-Bottier, à Bourges.

A. BURAT. Supplément à la géologie appliquée. In-8. 4 planches. — Langlois et Leclerc.

LAURENT. Traité de calcul différentiel. In-8 de 31 feuilles. — Mallet-Bachelier.

A. GEDRON. Considérations sur les migrations des végétaux. In-8 de 4 feuilles. — Bœhm, à Montpellier.

C. GERHARDT. Traité de chimie organique, tome Ier. In-8 de 18 feuilles 1/2. — F. Didot, à Paris.

C. FLANDIN. Traité des poisons, etc., tome II. In-8 de 35 feuilles. — Mallet-Bachelier.

LAGRANGE. Mécanique analytique, etc. 3e édition, revue et annotée par J. BERTRAND. 2 vol. in-4 : le premier volume a paru.

Hervé-Mangon. Étude sur le drainage. In-8 avec 12 planches gravées. — Carilian-Gœury et V^or Dalmont, à Paris.

Sterling, traduit par A. Planche. De la découverte des mines d'or en Australie et en Californie. 1 vol. format anglais. — Guillaumin.

Pelouze et Fremy. Traité de chimie générale. 2e édition, tomes I et II. — V. Masson, à Baris.

J. Hedley, traduit par Lambert et Modeste. Traité pratique de l'exploitation des mines de houille. 1 vol. grand in 8 avec 16 planches. — Borrani et Droz, à Paris.

A. Brongniart. Traité des arts céramiques. 2e édition, revue et augmentée par Salvetat. 2 vol. in-8 et 60 planches. — Béchet, à Paris; Carilian-Gœury et V^or Dalmont. à Paris.

De Boucheporn. Du Principe général de la philosophie naturelle. 1 vol. grand in 8 de 30 de feuilles. — Carilian-Gœury et Dalmont, à Paris.

Couche. Des mesures propres à prévenir les collisions sur les chemins de fer, broch. in-8°. — Carilian-Gœury et Dalmont, à Paris.

---

## ALLEMAGNE.

Becker. *Allgemeine baukunde...* Traité de construction. Grand in-8 et atlas in-folio : 1er volume. — Stuttgart.

B. Cotta. *Praktische...* Géognosie pratique. Un volume grand in-8. — Arnold, à Dresde.

M. Winter. *Die Dachconstructionen...* Construction des combles dans les conditions les plus diverses. 4 livraisons in-8. — Th. Grieben, à Berlin.

G. Bresson, traduit par Schnuse. *Elementar lehrbuch.* Traité de mécanique élémentaire, ses applications aux arts et à l'industrie. Tome Ier : Mécanique des corps solides, avec 18 planches in-folio. — Leske, à Darmstadt.

G. Decher. *Handbuch...* Manuel de mécanique rationnelle et technique. Tome II. — Chez Niéger, à Augsbourg.

P. Kramer. *Anfanhsgrunde.* Principes de trigonométrie plane et sphérique. — Chez le même.

W. Becker. *Erfahrungen...* Expériences sur le ciment de Portland. — Gropius, à Berlin.

C. Hartmann, traduit de l'anglais de J. Bourse, sur la 3e édi-

tion. *Katechismus der Dampfmachinelehre*... Manuel du conducteur de machines à vapeur, comprenant les principes de leur établissement, leur construction et leurs applications à l'industrie, à l'exploitation des mines et aux chemins de fer. — C.-A. Händel, à Leipzig.

---

## ANGLETERRE.

BAKEWELL. *Electric Science*... L'électricité, son histoire; phénomènes qu'elle produit, leurs applications.

BURN. *The Illustrated London Architectural*... Londres illustré à l'usage de l'architecte, de l'ingénieur et du mécanicien.

DELAMOTTE. *The Pratice of Photography*... Photographie pratique à l'usage des étudiants et des amateurs.

*Encyclopædia Britannica*... Encyclopédie britannique ou dictionnaire des arts, des sciences et de la littérature.

S.-C. HALL. *The Illustrated catalogue of the Great Exhibition in Dublin*... Catalogue illustré de la grande exposition de Dublin.

HEALE. *A Manual of Geography*... Manuel de géographie à l'usage des écoles militaires.

HIND. *The Illustrated London Astronomy*... Astronomie illustrée à l'usage des écoles et des étudiants.

HEMMING. *First Book of*... Premier livre de trigonométrie plane, avec des exemples à l'usage des écoles.

HUMPHREY. *American Handbook*... Manuel américain pour l'usage du daguerréotype.

JOHNSON. *Researches into the Effects*... Recherches sur l'action exercée par l'eau froide sur un sol chaud.

JOHNSTON. *A School Atlas of classical Geography*... Atlas de géographie classique.

KELAART. *Prodomus Faunæ Zeylanicæ*... Prodrome de la faune de Ceylan.

LINDLEY. *The vegetable Kingdom*... Flore du Royaume-Uni, comprenant la structure, la classification et les usages des plantes.

LIEBIG. *Handbook of Organic Analysis*... Manuel de l'analyse

organique; il donne des détails sur les diverses méthodes employées pour déterminer la composition élémentaire des matières organiques.

LYELL (Sir Charles). *Principles of Geology*... Principes de géologie, ou les changements subis par la terre et par ses habitants. 9ᵉ édit.

S. MOSSMAN. *Emigrants' Letters from Australia*... Lettres d'émigrants en Australie.

MATHER. *The Coal Mines*... Les mines de houille; dangers qu'elles présentent; moyens de sauvetage.

PHILLIPS. *Gold Mining and Assaying*... L'or, son exploitation, son essai; guide scientifique pour les émigrants en Australie.

READ. *What J. Reard saw*... Voyage aux mines d'or de l'Australie.

*The transactions of the Entomological*... Mémoire de la Société entomologique de Londres.

TOMLINSON. *A Cyclopædia of*... Encyclopédie des arts utiles et des manufactures.

WALKER. *The Magnetism of Ships*... Le magnétisme du vaisseau et la boussole; exposition élémentaire du magnétisme induit dans le fer du vaisseau lorsqu'il navigue.

WHYTHES. *The Microscopist*... Le microscopiste ou manuel complet sur l'emploi du microscope, à l'usage des physiciens, des étudiants, etc.

# ANNALES
# DES MINES.

## NOTE
### SUR LE BUT ET LES MOYENS D'EXÉCUTION DES CARTES AGRONOMIQUES;

Par M. Scipion GRAS, ingénieur en chef des mines.

Par une circulaire datée du 14 avril 1852, M. le ministre des travaux publics a appelé l'attention des préfets sur les avantages qu'il y aurait à dresser, pour chaque département, sa carte géologique agronomique, c'est-à-dire une carte où seraient indiqués graphiquement tous les faits physiques et géographiques qui peuvent intéresser l'agriculture, et notamment les relations intimes qui existent entre la constitution géologique d'un pays et ses productions végétales. Les ingénieurs des mines ont été chargés de dresser le programme des recherches à entreprendre pour l'exécution de ces cartes, et de le présenter aux conseils généraux. Postérieurement à cette circulaire, l'administration a transmis aux préfets et aux ingénieurs de savantes instructions rédigées par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, dans le but de poser des règles communes à toutes les cartes

agronomiques et de faire ressortir leur importance (1). Toutefois ces instructions, destinées à servir de guide aux ingénieurs, laissent une large part à leur initiative. Un programme rigoureux, ainsi que le font remarquer eux-mêmes les éminents auteurs de la carte géologique de France, aurait été impossible pour un travail où tout est nouveau. Il est indispensable que chaque ingénieur se trace à lui-même un plan particulier d'études le plus approprié à la constitution physique du département dont il aura à dresser la carte, et qu'il détermine d'avance, suivant les circonstances, les renseignements agricoles qu'il aura à recueillir et à indiquer.

Ayant été chargé de l'exécution de plusieurs cartes agronomiques dans les Alpes, j'ai dû, d'après ce qui précède, avant de commencer mes études sur le terrain, me rendre un compte exact du but et de la nature des recherches que j'allais entreprendre, de la direction qu'il fallait donner à mes observations et de la manière dont je pourrais en représenter graphiquement les résultats. Dès l'année 1852, j'ai cherché à mettre ce plan à exécution dans les départements de Vaucluse et de l'Isère. Mes premières études m'ont conduit à l'améliorer. Je l'ai successivement modifié et étendu. Enfin, je suis parvenu à rédiger un programme qui m'a paru assez complet et d'autant plus exécutable que je l'avais déjà soumis, au moins en partie, à l'épreuve de l'expérience. Je ne me suis d'abord occupé de ce travail que pour mon propre usage. J'ai pensé ensuite qu'en lui donnant un certain développement et une forme méthodique, il pourrait être de quelque utilité, comme renseignements, aux ingénieurs qui ont, comme moi, des

(1) On verra en lisant cette Note que j'ai tiré un grand parti de ces instructions.

cartes agronomiques à exécuter dans les pays de montagnes. C'est ce qui m'a décidé à le transmettre à la commission des *Annales des mines*.

But d'une carte agronomique ; sa division en trois cartes.

Une carte agronomique, considérée dans sa plus grande généralité, a pour objet, ainsi qu'on l'a dit plus haut, de représenter graphiquement tous les faits physiques et géographiques qui sont de nature à intéresser l'agriculture. Ces faits sont fort nombreux. On doit y comprendre la constitution physique et chimique de la terre végétale, celle du sous-sol, l'existence des gîtes de substances minérales pouvant servir d'amendements, les débouchés et les lignes de parcours de ceux de ces amendements qui sont exploités, les canaux d'irrigation actuellement existants et ceux qui pourraient être créés : l'étendue des terres trop humides susceptibles d'être assainies par le drainage, la division de la contrée en plusieurs régions caractérisées par un ensemble de cultures différentes, les débouchés et les lignes de parcours des principaux produits agricoles, l'altitude des diverses parties du pays, leur exposition, la quantité de pluie et de neige qui tombe moyennement chaque année sur un certain nombre de points, enfin la température moyenne des eaux de source et de filtration, ainsi que leur nature chimique principale. Cette énumération est sans doute incomplète, et cependant elle est déjà tellement étendue qu'il m'a paru impossible d'indiquer sans confusion, sur une seule feuille, tous les renseignements qu'elle renferme. Pour lever cette difficulté, j'ai cru devoir diviser la carte agronomique complète en trois cartes agronomiques partielles, identiques quant au trait géographique, mais offrant chacune un système de couleurs et de signes à part, correspondant à un ensemble de renseignements distincts.

Carte minéralogique.

Sur la première carte, que j'appellerai *minéralogique*, je me propose d'indiquer la nature de la terre végétale, celle du sous-sol, les détails relatifs aux amendements minéraux et à leurs débouchés, les canaux d'irrigation actuellement existants ou susceptibles d'être créés, enfin l'étendue et la distribution des terres pouvant être améliorées par le drainage.

Carte altitudinale.

La seconde carte, que je désignerai par le nom d'*altitudinale* (1), sera destinée à donner une idée exacte du relief du pays ou de l'élévation de ses diverses parties au-dessus du niveau de la mer. On sait que cette élévation a la plus grande influence sur les productions agricoles. Pour la faire connaître, je partagerai la contrée, que je suppose montagneuse, en un certain nombre de tranches ou zones au moyen de plans horizontaux passant à diverses hauteurs, et chaque zone sera indiquée sur la carte en projection horizontale par une teinte particulière. Cette division altitudinale du sol sera faite de manière à faire ressortir les traits les plus saillants de la configuration extérieure du pays, tels que la plaine, les collines, les plateaux, les vallées élevées et les sommets de montagnes.

En coloriant sur une carte déjà orientée les zones de hauteur, il est évident que l'on fera connaître en même temps l'exposition générale de leurs diverses faces. Cette donnée, si importante pour les cultures, ressortira par conséquent de la simple inspection de la carte altitudinale.

Comme complément de renseignements physiques, je marquerai sur la même carte les quantités moyennes

---

(1) Pour cette expression et quelques autres que j'emploierai dans la suite, on voudra bien me pardonner des néologismes bien difficiles à éviter quand on traite un sujet nouveau.

de pluie et de neige qui tombent annuellement sur un certain nombre de points convenablement choisis, ainsi que la température moyenne et la nature des principes chimiques dominants des sources.

La troisième carte, dite *culturale*, aura pour objet la division du pays en un certain nombre de régions caractérisées par une physionomie agricole différente. Cette diversité de physionomie existe en effet; elle est même quelquefois extrêmement tranchée. Carte culturale.

En comparant cette troisième carte aux deux premières, on saisira d'un seul coup d'œil, d'une manière précise et bien plus exacte que par la description écrite la plus détaillée, les rapports qui lient les divers genres de culture à l'influence combinée de la nature de la terre végétale, de celle du sous-sol, de l'altitude, de l'exposition, en un mot des principales circonstances physiques dont on doit nécessairement tenir compte, quand il s'agit de tirer d'un sol le meilleur parti possible.

On augmentera encore l'utilité de la carte culturale en désignant par des signes particuliers les grands marchés ou lieux de consommation des principaux produits agricoles de la contrée, ainsi que les routes suivies par ces produits dans leur mouvement commercial (1).

— Je viens d'indiquer d'une manière sommaire ce que doit contenir une carte agronomique et comment on peut la subdiviser en trois cartes distinctes. Il me reste maintenant à considérer en particulier chacune de ces

(1) Il faudra, pour la carte agronomique, graver une carte géographique spéciale dressée à une grande échelle. En attendant que ce travail soit exécuté pour les départements de l'Isère et de Vaucluse, je compte me servir, comme minute, de la carte de France, dite de l'état-major, ou, à son défaut, de celle de Cassini.

cartes, afin de déterminer avec précision la classification des divers ordres de faits et de renseignements qu'elle est destinée à offrir et la manière la plus convenable de les représenter graphiquement.

### 1° *Carte minéralogique.*

Définition de quelques expressions.

La nature de la terre végétale et celle du sous-sol sont les principales désignations que doit offrir la carte agronomique minéralogique. Avant d'examiner quelle est la meilleure classification à adopter pour ces deux éléments si importants à connaître en agriculture, il convient d'abord d'en donner une définition exacte.

Lorsqu'on observe la série des couches qui constituent l'écorce du globe, on trouve que presque partout la dernière ou la plus élevée est composée de matières meubles, consistant en détritus de nature en général très-variée, dont l'apport est dû, au moins en partie, à des causes actuellement agissantes. Lorsqu'on dresse la carte géologique d'une contrée, on est obligé de faire abstraction de cette dernière couche, car la classification des terrains ayant pour base leur ordre chronologique, la teinte qu'il conviendrait d'adopter pour les divers amas de débris dus aux causes actuelles couvrirait presque toute la carte. Au-dessous de cette couche meuble superficielle, que l'on désigne communément par le nom de *terre*, on observe immédiatement d'autres masses minérales dont la formation remonte bien au delà de notre époque, quelquefois jusqu'aux temps les plus reculés de la géologie. Ces masses minérales constituent ce que j'appellerai le *sous-sol géologique*. Elles n'ont, en général, d'autre rapport avec la terre située au-dessus que de lui avoir fourni une quantité plus ou moins grande de détritus résultant de leur désagrégation ou de leur décomposition actuelle.

La *terre végétale* proprement dite, ou le *sol végétal*, est la partie la plus superficielle de la terre, celle qui sert de support aux plantes et où s'accomplissent en partie les phénomènes de la végétation. Son épaisseur, très-variable, dépend de la nature des cultures. Ainsi, on admet qu'elle est de $0^m,20$ à $0^m,25$ pour les céréales et qu'elle ne s'étend pas, en général, au delà de $0^m,80$ pour les autres plantes herbacées. Lorsque le sol est couvert d'arbres ou d'arbrisseaux, elle peut dépasser de beaucoup cette limite.

Toutes les fois que la terre a une grande épaisseur, elle se divise en deux parties qu'il importe de distinguer. L'une, supérieure, est le sol végétal tel que l'on vient de le définir; l'autre, située immédiatement au-dessous, s'étend jusqu'au sous-sol géologique. Je nommerai *sous-sol terreux* cette partie de la terre qui est intermédiaire entre le sol végétal et la roche géologique sous-jacente. Comme elle a la même origine moderne et qu'elle est due aux mêmes causes que la terre végétale, elle n'en est en réalité que la continuation; cependant elle en diffère par l'absence de l'humus, qui est un produit de la décomposition des matières organiques, et quelquefois, quoique rarement, par une différence sensible de composition minéralogique.

Il résulte de ces définitions que le sous-sol terreux doit manquer dans deux circonstances : d'abord lorsque la terre n'a qu'une épaisseur juste suffisante pour renfermer les racines des plantes; en second lieu, lorsque le sous-sol géologique est lui-même une matière meuble dont la partie supérieure, altérée dans sa composition et sa texture par les agents physiques actuels, sert de terre végétale. Hormis ces deux cas, le sous-sol terreux existe toujours, et pour plus de clarté il m'a paru utile de le distinguer.

Les mots *terre*, *terre végétale*, *sous-sol terreux*, *sous-sol géologique* étant définis, il me reste à faire observer que celles de ces masses minérales dont il importe le plus de faire connaître la nature sur une carte agronomique, sont la *terre végétale*, dont le contact avec les plantes est immédiat, et le *sous-sol géologique*, dont l'influence sur la végétation est plus grande que celle du sous-sol terreux, toutes les fois que ce dernier ne diffère pas sensiblement du sol végétal par sa composition minéralogique. Le contraire arrive quelquefois pour les terres alluviales qui doivent leur origine aux débordements des cours d'eau actuels. Suivant les circonstances, leur partie la plus superficielle peut être formée d'une couche sablonneuse ou limoneuse reposant sur un lit de cailloux roulés et *vice versa*. Dans ce cas, qui au reste n'est pas fréquent et ne se rencontre que dans les terrains d'alluvion, le sous-sol terreux est évidemment celui que l'on doit indiquer de préférence, comme étant le plus influent.

**Classification des terres végétales adoptée par les auteurs.**

Les terres végétales doivent leur origine à des causes variées. Elles sont formées en partie des détritus de la roche géologique sous-jacente; en partie de matières étrangères amenées accidentellement de lieux plus ou moins éloignés par les eaux courantes ou par d'autres agents physiques, en partie de matières organiques décomposées appelées *humus*, provenant surtout des végétaux qui y croissent spontanément. En ayant égard à la fois à l'état physique et à la nature chimique des substances minérales qui entrent dans leur composition, on y distingue principalement des cailloux et des graviers de toute espèce, du sable fin pouvant appartenir aussi à toute espèce de roches, du carbonate de chaux en mélange intime et de l'argile.

On y rencontre aussi, quoiqu'en proportions en

général moindres, de l'oxyde de fer et du carbonate de magnésie. Enfin, une analyse complète y fait encore découvrir des sels alcalins, des phosphates terreux et d'autres principes variés, en très-faible quantité. En joignant à ces divers éléments l'*humus*, on voit que la composition d'un sol végétal peut être très-complexe. Il est rare que les principales substances qui entrent dans cette composition soient en proportions à peu près égales. Presque toujours l'une d'elles domine beaucoup relativement aux autres, et détermine les caractères minéralogiques de l'ensemble. C'est sur ce fait qu'on s'est basé en général pour classer les terres. Ainsi la plupart des agronomes les divisent en caillouteuses, sablonneuses, calcaires, argileuses, etc., etc. Ce principe de classification m'a paru offrir, quand j'ai cherché à l'appliquer, un grave inconvénient, celui d'être très-peu utile dans la pratique. Ce qui importe surtout à un agriculteur, c'est de savoir si sa terre est susceptible d'être amendée, et, en cas de réponse affirmative, quelle est la substance dont l'addition doit produire une amélioration. Sous ce rapport, la connaissance de l'élément minéralogique dominant ne lui apprend rien de précis. Une terre dite calcaire peut être une excellente terre; elle peut être aussi très-mauvaise. Les amendements qui lui conviennent peuvent être, suivant les cas, de l'argile ou une matière sablonneuse. On ne remédierait pas à cet inconvénient en désignant les terres par des mots composés qui rappelleraient deux de leurs éléments principaux, par exemple par les mots *argilo-calcaire*, *argilo-siliceux*, etc.; car les proportions de ces deux éléments n'étant pas indiquées, il resterait toujours à savoir si le sol a besoin d'amendements, et si cette question était résolue affirmativement, il y aurait encore de l'incertitude sur la nature de l'amendement, qui va-

rierait suivant que l'un des deux éléments indiqués dominerait beaucoup relativement à l'autre. Il n'y a réellement que l'analyse complète d'une terre qui puisse indiquer si sa composition est vicieuse, et comment on peut y remédier ; et encore, dans ce cas, l'on s'exposerait à de graves erreurs si, avant de procéder aux amendements indiqués par la théorie, on n'avait pas égard aux circonstances, physiques particulières dans lesquelles se trouve le sol analysé et aux genres de récoltes qu'on en retire. Un terrain essentiellement sablonneux n'a pas besoin d'amendements s'il est placé dans le voisinage d'une source abondante qui l'abreuve de nombreuses filtrations. Une terre trop argileuse en plaine, ou sous un climat humide peut être très-fertile sur les flancs d'une montagne, ou sous un ciel plus sec. Celui qui s'aviserait de transporter de l'argile sur les coteaux arides et caillouteux où croît le vin de l'Hermitage, commettrait sans doute une bévue énorme qui serait cependant parfaitement justifiée par l'analyse chimique considérée exclusivement. Concluons de là que la connaissance, même complète, de la nature minéralogique d'un sol ne suffit pas pour indiquer d'une manière certaine les améliorations dont il est susceptible.

Une carte agronomique devant présenter surtout des indications utiles au point de vue pratique, j'ai été conduit à adopter une autre classification de terres végétales, basée sur les principaux vices de constitution physique ou chimique qu'elles peuvent présenter. Avant d'exposer cette classification, je rappellerai d'abord les principes sur lesquels est fondée la théorie des amendements.

**Principes d'une autre classification.**

On dit qu'une terre est naturellement plus fertile qu'une autre lorsqu'à dose égale d'engrais artificiels, ou même sans ces engrais, la première donne des ré-

coltes plus belles, plus variées, plus continues que la seconde.

La fertilité naturelle d'un sol dépend d'un grand nombre de circonstances physiques. Les unes qu'on pourrait appeler *extérieures* sont le climat, l'exposition, la pente du sol, son altitude, le voisinage des eaux de source, etc.; les autres *intérieures*, sont les qualités physiques et chimiques de la terre. Il n'est pas au pouvoir de l'homme de changer les premières; l'art peut jusqu'à un certain point améliorer les secondes.

Les principales qualités physiques d'une bonne terre sont d'être convenablement hygroscopique, c'est-à-dire de retenir dans une juste mesure l'humidité qui est indispensable à la vie des plantes; d'être facilement divisible, ce qui permet aux racines de s'étendre librement; enfin de se laisser pénétrer par les gaz et les vapeurs atmosphériques, qui apportent avec eux des principes fécondants. Ses qualités chimiques sont de renfermer dans une proportion qui ne soit pas trop faible les diverses substances minérales salines et alcalines que le sol fournit aux végétaux, et qui, malgré leur faible proportion, en sont une partie essentielle; ce sont ces substances qui composent les cendres de ces végétaux. Une bonne terre doit renfermer aussi une certaine quantité d'humus, que l'on sait être une source lente et continue d'acide carbonique, très-utile au développement des semences.

L'expérience prouve que ce sont les qualités physiques de la terre qui ont le plus d'influence sur la nature et la beauté de la végétation. Ainsi deux terres d'une constitution chimique différente, mais qui se rapprocheront par leurs propriétés physiques, offriront la même flore, et réciproquement si la constitution chimique étant à peu près la même, les propriétés phy-

siques sont opposées, il y aura une grande diversité dans la nature des plantes.

La prédominance de l'influence des qualités physiques d'un sol sur celle de la composition chimique est telle que plusieurs auteurs ont été conduits à nier complétement la dernière ; mais c'est à tort. Il y a déjà longtemps que M. Berthier, ayant analysé les cendres de plusieurs espèces de bois, en a conclu que les matières minérales fournies par le sol aux végétaux étaient choisies par ceux-ci conformément à leurs besoins et à leur organisation (1). Cette conclusion, confirmée par toutes les recherches faites postérieurement, est fondée surtout sur ce fait, que la même plante, quoique cultivée dans des terrains très-différents, offre dans plusieurs de ses parties une composition minérale à peu près constante. C'est ainsi que la paille et les nœuds des tiges des graminées sont formés partout de silicate de potasse, et que l'acide phosphorique, uni principalement à la potasse et à la magnésie, est un élément constitutif essentiel des grains de froment et d'autres céréales. On doit conclure de là que si un sol était entièrement dépourvu de ces principes minéraux, les plantes auxquelles ils sont indispensables ne pourraient prendre leur entier développement. Une bonne constitution chimique est donc aussi nécessaire pour une terre que de bonnes qualités physiques. Si elle paraît avoir moins d'influence que celles-ci, peut-être doit-on l'attribuer à ce que la proportion des sels minéraux essentiels à une plante étant toujours très-petite, presque tous les sols, quelle que soit leur nature, en renferment une quantité à peu près suffisante, soit que ces sels y exis-

(1) *Annales des mines*, 2e série, t. I, p. 241.

tent naturellement, soit que des causes accidentelles les y transportent chaque année.

L'expérience prouve qu'un sol jouit de bonnes qualités physiques et chimiques lorsqu'il offre un mélange convenable des diverses substances que nous avons dit entrer dans la composition des terres. Les proportions de ce mélange sont loin d'être définies; car deux sols excellents peuvent, sous le rapport de leurs principes constituants, offrir de notables différences. Ce qui est essentiel, c'est que les éléments soient variés et que la prédominance de l'un d'eux relativement aux autres ne soit pas excessive. Une terre qui renferme 70 à 75 p. 100 de sable manque de corps et ne retient pas assez l'humidité; elle est impropre à la culture du froment. Si la quantité de sable surpasse 90 p. 100, le terrain est naturellement stérile. Il en est de même lorsque, au lieu du sable, c'est l'argile ou la marne pure qui domine exclusivement. Pour peu au contraire que ces trois substances soient réunies, le mélange peut être fertile.

Lorsque la constitution physique ou chimique d'un sol est défectueuse, il est d'une haute importance en agriculture d'y remédier; car par là on crée la fertilité là où rien ne pouvait croître; on donne aux terres d'un faible rapport des valeurs doubles ou triples de celles qu'elles avaient.

Il y a deux espèces de moyens d'améliorer un sol, savoir: 1° directement, par l'addition des substances minérales qui ne s'y trouvent pas en quantité suffisante, et quelquefois par la soustraction des matières en excès, c'est ce qui constitue les *amendements* proprement dits; 2° indirectement, à l'aide de certaines opérations qui, sans rien changer à la composition de la terre, en corrigent les défauts; telles sont le drainage, l'irri-

gation, le défoncement du sol, son ameublissement, etc.

Le choix de ces moyens dépend évidemment de la facilité plus ou moins grande de leur emploi, des dépenses qu'ils doivent entraîner et des résultats qu'on peut en espérer. Il est rare que quelques-uns d'entre eux ne soient pas applicables avec avantage.

**Classification des terres au point de vue de leur amendement.**

Des principes qui viennent d'être exposés ressort une classification très-simple des terres, basée sur les amendements dont elles sont susceptibles.

Elles se partagent d'abord en deux grandes divisions, savoir les terres *inamendables* et les terres *amendables*.

Les premières sont celles qui, à raison de l'heureuse proportion de leurs éléments, jouissent d'une fertilité suffisante, ou bien dont la constitution est assez bien appropriée au genre de récolte que l'on en retire pour qu'il n'y ait rien à y changer, ou enfin dont les qualités défectueuses se trouvent corrigées par des circonstances physiques exceptionnelles, telles que le voisinage de sources abondantes, un climat très-humide ou très-sec, etc. On doit aussi y ajouter les terres qui, à raison de leur élévation excessive, de leur forte inclinaison ou pour toute autre cause sont vouées à une stérilité forcée.

Les terres *amendables* se subdivisent en deux classes, suivant qu'elles ont besoin d'être améliorées *physiquement* ou *chimiquement*.

Les terres amendables *physiquement* se réduisent aux trois espèces suivantes :

#### 1° Terres trop légères.

Elles ne retiennent pas assez l'humidité, ce qui est un grave inconvénient ; elles ne conservent pas les engrais organiques qu'on y ajoute ; elles sont trop mobiles. Ces défauts tiennent ordinairement à ce qu'elles ne renferment pas assez d'argile. Je les nommerai pour

cette raison *argilocares* (1). Cette catégorie comprend surtout les terres sablonneuses, caillouteuses ou graveleuses. On corrige leurs défauts par l'addition de l'argile, de la marne argileuse, et en général de toutes les substances qui jouissent d'un pouvoir hygroscopique supérieur à celui du sable; la marne et l'humus sont de ce nombre. L'irrigation est un des moyens indirects les plus puissants pour fertiliser les terres de cette espèce.

2° Terres trop fortes.

Quand elles sont humides, elles retiennent l'eau avec trop de force, ce qui fait pourrir les racines; exposées au soleil, elles se contractent, se durcissent et deviennent tout à fait imperméables aux gaz atmosphériques; elles ne se divisent qu'avec beaucoup de difficulté. La source de ces inconvénients est dans une trop grande prédominance de l'argile relativement au sable, élément essentiel pour diviser le sol et le rendre perméable. On remédie aux défauts de ces terres, que je nommerai *arénocares* (2) en y mêlant du sable, du gravier, de la marne, des plâtras, des matières végétales difficiles à décomposer, en général toutes les substances qui ont un pouvoir hygroscopique moindre que celui de l'argile, et qui tendent à la diviser. La calcination de la partie superficielle des terres trop argileuses, dite *écobuage*, est aussi un moyen direct de les ameublir. Les moyens indirects d'amélioration consistent surtout dans le drainage et la division mécanique du sol.

3° Terres trop riches en détritus végétaux.

Ces terres, que j'appellerai avec plusieurs agronomes *humifères*, sont peu propres à la culture à cause de leur

---

(1) Qui manquent d'argile.
(2) Qui manquent de sables.

nature tourbeuse et de l'humidité qu'elles ont ordinairement en excès. Pour les amender, il faut d'abord les assainir, ce qui supprime la source du mal; puis faire disparaître l'excès des matières organiques par l'écobuage. Les terres *humifères*, telles que nous venons de les définir, se rencontrent dans presque tous les pays où elles occupent quelquefois de vastes étendues. Leur amélioration, souvent facile, produit les plus heureux résultats, tant sous le rapport agricole que sous celui de la salubrité publique.

—Les terres amendables *chimiquement* paraissent au premier abord devoir être très-nombreuses, si l'on a égard à la multitude et à la diversité des matières dont l'influence chimique sur le sol a été constatée. En effet, sans sortir des substances purement minérales, on peut citer la marne, la chaux caustique, le sulfate de chaux ou gypse, les cendres, la suie, les roches feldspathiques pulvérulentes et la plupart des sels alcalins. Mais parmi ces substances, il en est dont l'usage sera toujours très-restreint, à cause de leur cherté ou de la difficulté de se les procurer; d'autres qui conviennent à peu près à toute espèce de sols. En les écartant, il n'en reste que deux qui, par la généralité de leur emploi et leur action spéciale sur certaines terres, peuvent servir de base à une classification. Ces substances sont la chaux, soit à l'état de marne, soit à l'état caustique, et le gypse.

La marne délitée par une longue exposition à l'air agit chimiquement sur les terres en fournissant du carbonate de chaux extrêmement divisé, et par conséquent très-propre à être assimilé par les plantes. Il paraît aussi que la marne, à raison de sa porosité et de la division de ses molécules, jouit d'une propriété précieuse, commune au reste à toutes les poussières ténues: elle

condense les gaz et les vapeurs atmosphériques et donne lieu par là à la formation de sels azotés, ce qui lui communique en partie l'énergie des engrais organiques.

L'emploi de la chaux caustique porte le nom de chaulage. Cette substance mise sur les terres en poudre très-divisée passe promptement à l'état de carbonate; elle agit donc principalement à la manière de la marne. Cependant, on doit admettre que par sa causticité elle a une influence particulière, au moins dans les premiers moments où elle est employée. Elle sature les acides libres qui se rencontrent quelquefois dans le sol; elle favorise aussi la décomposition de certaines substances soit minérales, soit organiques, et les transforme promptement en éléments assimilables. C'est principalement sur les terres tourbeuses ou *humifères* que ses heureux effets se font sentir.

La marne et la chaux caustique conviennent aux terres argileuses, argilo-siliceuses, et en général à toutes celles qui manquent de carbonate de chaux. Elles réussissent quelquefois dans les terrains calcaires; car il ne suffit pas qu'un principe minéral nécessaire aux plantes se trouve dans un terrain, il faut encore qu'il y soit dans un état propre à l'assimilation. Je donnerai le nom de *calciphiles* (1) aux terres susceptibles d'être marnées ou chaulées avec avantage.

Le gypse, qui prend le nom de plâtre quand il a été privé de son eau par la calcination, est un des amendements chimiques dont les effets sont les plus extraordinaires et en même temps les moins uniformes et les moins constants. Il est des localités où son emploi a doublé et triplé le produit des récoltes fourragères.

(1) Qui aiment la chaux.

Ailleurs on n'a pu en obtenir aucun résultat avantageux. Les explications les plus diverses et les plus contradictoires ont été données sur sa manière d'agir, et cette question est loin d'être complétement éclaircie. L'opinion qui paraît le plus en harmonie avec l'ensemble des faits connus est celle de M. Boussingault. Ce savant admet que le plâtre n'agit pas comme substance immédiatement assimilable, mais en introduisant de la chaux dans le sol. Il se produit par l'effet de doubles décompositions du carbonate de chaux qui étant à l'état naissant et très-divisé est pour cela d'une absorption facile. C'est parce que le carbonate de chaux assimilable se trouve en quantité sensible dans certains terrains et manque complétement dans d'autres que l'action du plâtre paraît être aussi inégale (1). Je désignerai par le nom de *gypsophiles* (2) les terres auxquelles cette substance convient comme amendement chimique.

En résumé, on peut distinguer cinq sortes de terres amendables, savoir : les terres *argilocares*, *arénocares*, *humifères*, *calciphiles* et *gypsophiles*. Cette classification, insuffisante peut-être pour quelques localités, m'a paru cependant devoir convenir à la plupart des cartes agronomiques.

Il me reste à parler des moyens les plus propres à les indiquer graphiquement. J'ai donné la préférence aux lignes pointillées et aux hachures diversement inclinées. Ainsi, je représente les sols *humifères* par des lignes ho-

(1) Cette opinion de M. Boussingault est basée sur le résultat de ses analyses. Il a trouvé que le trèfle, sur lequel le plâtre a, comme on le sait, une grande influence, renfermait moins de sulfate de chaux que d'autres récoltes, comme les navets, qui ne sont jamais plâtrées; que d'un autre côté le trèfle était une des plantes qui renfermait le plus de chaux unie à divers acides végétaux. (*Économie rurale*, II.)

(2) Qui aiment le gypse.

rizontales pointillées, les *argilocares* par des hachures inclinées de droite à gauche, les *arénocares* par des hachures inclinées de gauche à droite, les *calciphiles* par des hachures verticales et les *gypsophiles* par des hachures horizontales; enfin les terres qui appartiendraient à la fois à plusieurs des classes précédentes, par la combinaison des hachures propres à chacune d'elles.

Quant aux terres inamendables, le système le plus simple est de n'employer pour elles aucune espèce de signes.

Ainsi qu'on l'a dit plus haut, il est important d'indiquer sur une carte agronomique la nature des sous-sols géologiques, à cause de leur liaison avec la qualité des terres. L'influence des sous-sols tient surtout à leurs propriétés physiques. Ainsi, une roche perméable en petit, telle qu'un grès fin à texture lâche, retient longtemps l'humidité et la cède peu à peu à la terre superposée, à mesure que celle-ci se dessèche. C'est comme une éponge humide qui entretient dans un état de fraîcheur continuelle les corps avec lesquels elle est en contact. Si le sous-sol est une roche compacte, mais perméable en grand par suite de fendillements nombreux, il se produit un effet tout contraire; la sécheresse constante du sous-sol détermine celle du sol. La facilité plus ou moins grande avec laquelle une roche sous-jacente se désagrége a surtout une grande influence sur la végétation. Quand les détritus sont nombreux, la terre végétale a une grande épaisseur et son pouvoir hygroscopique est considérable. Les prairies naturelles et la plupart des cultures peuvent y prospérer. Si le sous-sol, à raison de sa compacité et de sa dureté, fournit très-peu de détritus, il en résulte un sol maigre, presque toujours couvert de bois. La friabilité plus ou moins grande des roches a paru si importante à M. Thur-

Classification des sous-sols.

man (1) qu'il en a fait la base de sa classification des terrains considérés dans leur rapport avec la botanique. Ainsi, il les divise en *engéogènes* ou facilement désagrégeables et en *disgéogènes* ou difficiles à désagréger.

Ces deux grandes classes comprennent ensuite plusieurs sous-divisions, suivant que les détritus produits sont plus ou moins argileux ou plus ou moins sablonneux. Cette classification a l'inconvénient d'être trop artificielle; elle n'indique pas toutes les propriétés des sous-sols qu'il est utile de connaître. Je pense qu'il vaut mieux désigner les roches par leur nom minéralogique suivi de quelques épithètes propres à faire ressortir leurs caractères les plus saillants, en employant par exemple les mots de *calcaire compacte*, *massif* ou *fendillé*, de *marne argileuse*, de *grès friable*, etc. L'adoption de pareilles dénominations, en faisant connaître d'une manière précise la nature des roches sous-jacentes, augmentera beaucoup l'utilité des cartes minéralogiques agronomiques. Car, ce n'est pas seulement à l'agriculteur que celles-ci fourniront des renseignements précieux, mais encore à l'ingénieur pour une foule de travaux. En effet, pour construire des chemins de fer ou des routes ordinaires, pour creuser des canaux, percer des tunnels, ouvrir des tranchées, etc., il est indispensable de savoir quelles roches on rencontrera au-dessous de la terre végétale. Les cartes géologiques, les seules que l'on puisse consulter aujourd'hui pour cet objet, ne fournissent que des données incertaines et incomplètes; car on sait que le même terrain considéré géologiquement, peut offrir, suivant les localités, une constitution minéralogique très-différente.

(1) *Essai de Phytostatique appliquée à la chaîne du Jura*, tome I, page 95.

Indépendamment de la nature minéralogique d'un sous-sol, il convient d'indiquer par des signes particuliers s'il est distinctement stratifié, si les couches sont inclinées, et, dans ce cas, de quel côté elles plongent. Ces diverses circonstances de la stratification, loin d'être indifférentes, sont au contraire très-utiles à connaître.

La classification des sous-sols étant basée sur leur nature minéralogique, leur nomenclature doit nécessairement être très-variable suivant les localités. Dans le département de l'Isère, tous les sous-sols m'ont paru pouvoir se rapporter aux roches suivantes : 1° argile plus ou moins marneuse ; 2° graviers et cailloux ; 3° sable et grès friable ; 4° calcaire compacte ou grenu en grande masse ; 5° calcaire marneux solide ; 6° marne calcaire friable et schiste argilo-calcaire ; 7° schiste argileux et roches micacées schisteuses ; 8° roches granitiques. Il sera facile de désigner ces divers sous-sols sur la carte, en leur appliquant des teintes particulières, et même rien n'empêchera, en ajoutant des lettres, d'indiquer leur étage géologique, ce qui achèvera de donner une idée très-complète de la constitution minérale du pays.

**Amendements minéraux.**

L'indication des substances minérales pouvant servir d'amendements est un des renseignements les plus importants que puisse offrir une carte agronomique, et il appartient surtout aux ingénieurs des mines de le fournir ; car cette étude rentre tout à fait dans leurs connaissances spéciales. L'emploi des amendements très-répandu en Angleterre, en Allemagne et dans tous les pays où l'agriculture est avancée, est encore peu connu en France. Dans les localités où leur usage s'est introduit, il est d'une date peu ancienne, et cependant on a déjà pu en apprécier les avantages. Ce n'est que

depuis le commencement du 19e siècle que le chaulage des terres a lieu sur une grande échelle dans le Maine, l'Anjou, la Vendée, une partie de la Normandie et de la Bretagne. Il en est résulté sur les sols chaulés une production double et quelquefois triple en froment. Dans les seuls départements de la Mayenne et de la Sarthe, près de 250,000 mètres cubes de chaux sont employés annuellement à l'amendement des terres (1).

Le marnage a fait des progrès récents dans le département de l'Ain et le nord-ouest de l'Isère. On doit citer particulièrement dans ce dernier département les cantons de Meysieux, de Saint-Symphorien, de Saint-Jean de Bournay, de la côte Saint-André et de Crémieux. Aux environs de la côte Saint-André, depuis que l'on a adopté l'usage de marner, l'hectare de terre qui valait auparavant 800 à 1000 francs, se paye aujourd'hui de 2000 à 2400 francs. Cette augmentation s'explique par les prairies artificielles qu'on a obtenues à l'aide de la marne, et qui étaient inconnues auparavant dans ces localités.

Les arrondissements de Vienne, de Saint-Marcellin et de la Tour-du-Pin, dans le département de l'Isère, se sont si bien trouvés de l'emploi du plâtre pour les plantes fourragères, que les seules carrières des environs de Vizille (Isère), quoique distantes de 60 à 70 kilomètres des principaux lieux de consommation, en fournissent annuellement plus de 80,000 quintaux métriques pour ce seul usage. La consommation serait bien plus forte si le prix du plâtre n'y mettait obstacle.

L'introduction de ces divers amendements dans les lieux que nous venons de citer a été déterminée le plus

(1) Durocher. *Bulletin de la société géologique*, 1849, p. 413.

souvent par le succès d'une seule expérience bien faite, quelquefois tentée par hasard. La force toute-puissante de l'exemple a fait le reste. On doit en conclure par analogie que, dans beaucoup de localités où les amendements minéraux ne sont pas même connus de nom, leur emploi enrichira un jour les cultivateurs. Pour que ce moment arrive, il faut que ces amendements soient signalés et expérimentés. Or rien ne peut tendre plus directement à ce but que de marquer sur une carte agronomique leur gisement et leur qualité. Les principales substances à indiquer, sont le sable, l'argile, le gypse et les marnes, en distinguant par un signe particulier celles qui sont argileuses, calcaires ou sablonneuses. Au moyen de lignes rayonnantes partant des gîtes et suffisamment prolongées et ramifiées dans diverses directions, il sera facile de faire connaître les débouchés des carrières en exploitation. Quant à celles qui ne sont pas encore utilisées et qu'il sera essentiel de signaler d'une manière spéciale, on indiquera par un moyen semblable dans quel rayon leurs produits seraient probablement transportés, si une exploitation était ouverte.

Le chaulage des terres peut remplacer avantageusement le marnage. Pour que cette opération soit possible économiquement, il suffit de trouver réunis dans la même localité de la pierre calcaire et du combustible d'une extraction peu dispendieuse. Cette réunion devra donc être marquée sur la carte agronomique toutes les fois qu'elle existera.

Le choix des signes à employer pour les carrières d'amendements n'est sujet à aucune difficulté. On peut adopter ceux qui figurent sur la plupart des cartes géologiques pour l'indication des gîtes de substances minérales.

Canaux d'irrigation.

La pratique de l'irrigation est en général peu avancée en France. Les cartes agronomiques serviront puissamment à la répandre, si, indépendamment des canaux d'arrosage déjà existants, elles offrent le tracé approximatif de tous ceux dont l'exécution serait avantageuse. On rencontre dans beaucoup de lieux, surtout dans les pays de montagnes, nombre de petits cours d'eau qui ne sont pas utilisés pour l'agriculture, par suite de l'insouciance et de la routine si fréquentes chez les habitants de la campagne. Personne ne s'étant avisé d'arroser dans un canton, c'est une raison pour que cette opération soit regardée comme impossible ou inutile. Le tracé d'un projet de canal sur une carte agronomique doit finir tôt ou tard par triompher de cette apathie, en attirant l'attention des autorités locales et des propriétaires intéressés. On examinera de près la possibilité et les avantages de l'entreprise, et bien souvent cet examen entraînera son exécution.

Dans certaines localités où il n'y a que des cours d'eau trop peu abondants pour servir directement à l'arrosage, on peut quelquefois, en barrant les vallées sur les points où elles sont étranglées, construire des réservoirs plus ou moins spacieux dont les eaux sont ensuite utilisées à l'époque des sécheresses. Il existe dans le département de Vaucluse, sur la commune de Caromb, près de Carpentras, un réservoir de ce genre qui rend de grands services (1). On pourrait en établir de pareils sur d'autres points des Alpes et dans la plu-

(1) Ce réservoir, connu dans le pays sous le nom d'Écluse de Carromb, a été créé au moyen d'un barrage en maçonnerie qui forme l'entrée très-étroite d'un petit vallon où coule le ruisseau nommé Lauron. Le barrage n'a pas moins de 50 mètres de hauteur et de 8 mètres d'épaisseur. Sa longueur, qui n'est que de quelques mètres à la base, atteint 80 mètres à sa partie

part des pays montagneux. En joignant l'indication des vallées susceptibles d'être barrées au tracé des canaux d'irrigation reconnus possibles, il est évident que l'on réunira un ensemble de renseignements très-utiles pour répandre la pratique de l'arrosage.

Par l'irrigation on donne à la terre l'humidité qui lui manque; par le drainage on lui enlève celle qu'elle a en excès. Cette opération est donc inverse de la première, et l'expérience a prouvé qu'elle n'était pas moins importante. Drainage.

On doit distinguer deux espèces de terres auxquelles le drainage peut être appliqué avec avantage. Chez les unes l'humidité est superficielle et apparente; elle est habituelle, sauf en temps de grande sécheresse. Cela est dû en général à ce que la surface du sol manque d'écoulement. Les terrains marécageux et la plupart des terres *humifères* appartiennent à cette catégorie. Chez les autres, l'eau en excès n'est pas visible; elle est souterraine et n'en est pas moins très-nuisible. Cela a lieu souvent pour les terres *argilocares* peu épaisses reposant sur un sous-sol imperméable. Il en est de même pour la plupart des terres *arénocares* d'une grande épaisseur, quoique leur pente à la surface soit suffisante. Leur partie la plus superficielle, ameublie par le labour et l'addition des engrais végétaux, se laisse pénétrer assez bien par les eaux pluviales; mais lorsque celles-ci sont arrivées au sous-sol terreux dont rien n'a diminué l'imperméabilité, elle s'y arrêtent et entre-

---

supérieure. On évalue à 400.000 mètres cubes la capacité du réservoir qui se remplit et sert en été à l'arrosage et à faire mouvoir des roues hydrauliques. Ce travail, commencé en 1762 aux frais de la commune de Carromb, n'a coûté que 36.000 fr. environ (*Mémoire statistique sur le département de Vaucluse*, par Pazzis, p. 119).

tiennent une humidité constante funeste à la végétation.

Les propriétaires sont fortement intéressés à connaître l'étendue et la situation des terres susceptibles d'être améliorées par le drainage. Cette connaissance serait aussi très-utile à l'administration qui, sachant ce qu'il y a à faire sous ce rapport, prendrait des mesures propres à encourager la pratique d'une opération qui doit avoir la plus heureuse influence sur l'amélioration et l'accroissement de nos produits agricoles.

Pour indiquer l'étendue et la distribution géographique des terres à drainer, j'ai adopté, comme signe graphique, un semis de points ronds suffisamment rapprochés, qu'il sera facile de combiner avec les hachures par lesquelles j'ai proposé de représenter les diverses sortes de terres végétales.

## 2° *Carte altitudinale.*

**Choix des divisions.**

Le relief et la configuration extérieure du sol ayant une grande influence sur ses produits agricoles, il est nécessaire d'en donner une idée exacte : tel est le but de la carte altitudinale. Comme on l'a dit plus haut, cette carte doit représenter, en projection horizontale, diverses zones ou tranches d'un pays comprises entre des plans parallèles et correspondant aux principaux traits de sa structure topographique. On pourrait croire d'abord qu'afin de mieux faire saisir les rapports qui existent entre le relief du sol et l'agriculture, il conviendrait de faire coïncider les plans parallèles avec les limites supérieures de telle ou telle récolte, ce qui servirait à caractériser les diverses zones ; mais cette division n'est pas en général possible. On sait que la plus grande hauteur à laquelle peut croître une plante est très-variable, non-seulement suivant les latitudes, mais en-

core dans le sein de la même contrée montagneuse, à des distances trop rapprochées pour que la latitude puisse avoir de l'influence. Cette variation dépend de la configuration des lieux, de l'exposition, des abris, de la nature des roches et surtout de l'altitude du massif au-dessus duquel s'élèvent les sommités des montagnes. On doit à Villars, connu par sa *Flore du Dauphiné*, des observations intéressantes qui ont mis cette dernière cause en évidence (1). Ce savant botaniste a remarqué qu'en s'élevant du fond des vallées jusqu'au sommet des montagnes, dans l'Isère et les Hautes-Alpes, on parcourait cinq régions agricoles distinctes, savoir : celle du froment et des vignes, celle du seigle et des bois taillis, celle des forêts d'arbres résineux, pins, sapins, etc., celle des gazons et hauts pâturages des Alpes, enfin celle des rochers nus et des neiges perpétuelles. Ces diverses régions sont assez nettement séparées et ont pour limites des lignes à peu près horizontales que l'on peut suivre de l'œil sur le flanc des montagnes. Elles se succèdent partout dans le même ordre, en offrant seulement quelques variations dans leur épaisseur; mais leur hauteur absolue est loin d'être constante. Si l'on voyage un baromètre à la main, on peut rencontrer, sans sortir d'un rayon de 12 à 15 lieues, les bois résineux là où l'on s'attendait à trouver les prairies alpines; les terres cultivées peuvent occuper la place des forêts d'arbres résineux ou même celle des hauts pâturages. On remarque qu'une plus grande élévation des zones au-dessus du niveau de la mer correspond toujours à une hauteur plus considérable de la vallée principale ou du plateau qui sert de base à la montagne, l'exposition n'ayant sous ce rapport qu'une

(1) *Journal de physique*, t. XXII, p. 269.

influence secondaire. C'est ainsi qu'aux environs du Villard-d'Arène (Hautes-Alpes) et sur le mont Genèvre les seigles peuvent mûrir à 1.800 et 1.900 mètres d'élévation, et qu'au contraire au mont Taillefer, près du bourg d'Oisans, les arbustes mêmes cessent de croître à cette hauteur, et qu'on n'y trouve plus que des pelouses et des chalets. En comparant les lieux on ne voit pas de différences sensibles quant à l'exposition, mais les hautes vallées de la Romanche et de la Durance au-dessus desquelles s'élèvent le Villard-d'Arène et le mont Genèvre n'ont pas moins de 1.300 à 1.400 mètres d'altitude, tandis que la plaine du Bourg-d'Oisans, que domine le mont Taillefer, n'a que 700 mètres environ.

La division altitudinale d'une contrée d'après les limites supérieures de certaines cultures n'est donc pas susceptible d'une précision suffisante. Il vaut mieux prendre pour base les principaux traits topographiques du pays, comme la plaine, les collines, les plateaux, les hautes vallées et les sommités. En comparant ensuite dans leur ensemble les cultures répandues dans chaque zone, on observe des différences sensibles bien propres à faire ressortir la part d'influence qu'exerce l'altitude du sol sur la végétation.

Application au département de l'Isère.

Le sol du département de l'Isère, que je prendrai pour exemple, m'a paru se diviser naturellement dans le sens de la hauteur en trois régions principales que je désignerai sous les noms de basse, de moyenne et de haute, chacune d'elles présentant elle-même deux étages successifs.

Le premier étage de la région basse comprend tout le sol inférieur à un plan horizontal qui passerait à 250 mètres au-dessus du niveau de la mer. C'est la plaine proprement dite, dont font partie les bords du Rhône et la

riche vallée de l'Isère. Toutes les récoltes propres au pays peuvent y prospérer.

Le deuxième étage de la même région est une zone comprise entre 250 et 550 mètres d'altitude ; elle correspond aux coteaux qui bordent la plaine et à quelques vallées et plateaux peu élevés, dans la partie nord-ouest du département. C'est là que se trouvent à peu près tous les vignobles du pays.

La région moyenne est assez distincte de la précédente et forme comme un second gradin dans cette partie des Alpes. Elle se divise également en deux étages. Le premier, dont l'altitude est de 550 à 1.100 mètres, correspond aux plateaux et hautes vallées qui dominent le Rhône et l'Isère. Les cantons de la Mure, de Mons, de Corps, du Villard-de-Lans, etc., en font partie. Le raisin ne peut mûrir à cette hauteur. Les principales récoltes consistent en céréales, froment, seigle, avoine ; en pommes de terre, etc. C'est aussi la région des bois taillis et des prairies.

Le deuxième étage de la région moyenne comprend les versants des montagnes qui, dans l'arrondissement de Grenoble, s'élèvent au-dessus du massif formé par les plateaux et hautes vallées. Cet étage, commençant à 1.100 mètres, s'étend jusqu'à 1.700 mètres au-dessus du niveau de la mer. Entre ces limites, on ne cultive plus le froment, ou tout au moins il est rare : c'est le seigle qui domine. Dans la plupart des localités, la partie supérieure de cette zone n'offre que des bois résineux ou des pâturages.

La région haute comprend la partie supérieure des chaînes de montagnes. Son premier étage correspond aux sommités et aux lignes de faîte de 1.700 à 2.300 mètres de hauteur. Les bois ne tardent pas à disparaître dès que l'on a atteint cette zone. On n'y

voit, en général, que de vastes pâturages ou des rochers nus, couverts de neige pendant la plus grande partie de l'année.

Enfin au-dessus de 2.300 mètres, niveau de l'étage précédent, s'élèvent un assez grand nombre de pics isolés qui atteignent jusqu'à 3.000 mètres et au delà. C'est le séjour des neiges perpétuelles. C'est à peine si l'on y trouve des traces d'êtres organisés (1).

Le point le plus bas du département de l'Isère, étant à peu près 135 mètres au-dessus du niveau de la mer, il résulte des limites supérieures et inférieures assignées aux six zones précédentes que leurs épaisseurs respectives, en allant de bas en haut, sont de 115, 300, 550, 600, 600 et 700 mètres.

Cet exemple est propre à donner une idée claire de la nature des divisions qui me paraissent devoir figurer sur une carte altitudinale.

Quantités et de pluie et de neige.

Mon intention est de marquer sur cette même carte, les quantités moyennes de pluie et de neige qui tombent dans divers lieux de la contrée, en écrivant à côté l'altitude précise des points où les observations auront été faites. Cette donnée météorologique a été jusqu'à présent assez négligée ; cependant sa connaissance peut seule éclairer sur l'humidité plus ou moins grande du climat. Elle est indispensable pour la construction des citernes et des réservoirs devant servir soit à l'irrigation soit aux usages domestiques. Il y a bien peu de localités en France où des observations pluviométriques aient été faites assez longtemps pour en déduire des moyennes. C'est un travail utile à entreprendre auquel il serait

(1) Quelques plantes herbacées peuvent vivre au niveau des neiges perpétuelles, mais seulement dans les lieux bien exposés. Villars en a donné une liste. (*Journal de physique*, t. XXII.

à désirer que l'administration elle-même donnât de l'impulsion.

Après les quantités moyennes de pluie et de neige, il sera utile de marquer, sur la carte altitudinale, les températures moyennes des eaux de source qui se font jour dans les diverses zones. Pour avoir des résultats comparables, il faudra que toutes ces températures soient prises dans le courant du même mois, pendant plusieurs années, par exemple au mois de juin ou de décembre, où la température des sources paraît être en général la moyenne de l'année. Température et nature des sources.

A côté du chiffre de la température, on indiquera en signes abréviatifs la nature chimique dominante des eaux, qui peuvent être divisées en calcaires, gypseuses, ou alcalines, ou appartenir à la fois à deux de ces classes. Cette connaissance est importante pour apprécier jusqu'à quel point elles sont bonnes pour l'irrigation, et en général quelle est leur influence sur la végétation environnante.

### 3° *Carte culturale,*

Une des conséquences de l'extrême division de la propriété en France, est l'absence fréquente de toute règle dans le choix des récoltes. Beaucoup de petits propriétaires ne consultent à cet égard que leurs besoins personnels; ils veulent que le sol produise tout ce qui leur est nécessaire. Il en résulte que trop souvent on rencontre dans le même lieu des cultures disparates qui ne peuvent pas prospérer simultanément. Cependant telle est la liaison qui existe entre la nature et la qualité des produits agricoles d'une part, et de l'autre les qualités physiques et chimiques des terres végétales, celle des sous-sols, l'altitude des lieux, leur exposition et d'autres circonstances extérieures, que, malgré la diversité des But de la carte culturale.

besoins et les caprices des propriétaires, l'influence des causes naturelles reste encore très-sensible aux yeux d'un observateur attentif. C'est elle qui imprime à l'agriculture de chaque contrée d'une constitution physique différente, une physionomie particulière, caractérisée par une ou plusieurs espèces de récoltes dominantes, quelquefois par l'absence de certains produits. Une carte culturale a pour but de représenter, à l'aide de couleurs, ces diverses physionomies ; elle fait saisir par conséquent d'un seul coup d'œil la nature, l'étendue et la distribution géographique des principales richesses agricoles d'un pays.

Une carte culturale bien faite, doit représenter l'état agricole d'un département tel qu'il serait si, au lieu d'être divisé entre plusieurs milliers de propriétaires, le sol appartenait à un seul agronome versé dans toutes les branches de l'économie rurale. Ce propriétaire unique ne mettrait pas de céréales là ou il faudrait des vignes et *vice versâ;* il ne tirerait pas des récoltes épuisantes des terrains légers, et ne défricherait pas les terrains en pente qui doivent rester boisés ou gazonnés ; en un mot, il ne commettrait aucune de ces nombreuses fautes qui ont leur source principale dans le défaut d'unité des opérations agricoles. Toutes les récoltes seraient au contraire à leur place, et sur le terrain qui leur conviendrait le mieux. Les diverses parties du département présenteraient alors dans toute leur pureté cette différence de physionomie agricole qui est une conséquence nécessaire des lois qui lient la nature et la situation d'un terrain à ses productions.

**Application au département de l'Isère.**

Dans le département de l'Isère, que je continuerai à prendre pour exemple, les divisions de la carte culturale comprendront au moins sept espèces de fonds donnant des produits différents, savoir : 1° les terres ara-

bles fertiles où l'on cultive le chanvre, le froment, le maïs, etc.; 2° les terres arables légères qui, à raison de leur maigreur ou de leur élévation, ne sont propres qu'à la culture du seigle, de l'avoine et de la pomme de terre; 3° les vignobles; 4° les prairies et les bois taillis; 5° les forêts, en distinguant celles qui sont à essences feuillues de celles qui sont résineuses; 6° les hauts pâturages alpins; 7° anfin les lieux laissés incultes quelle qu'en soit la cause. Cette dernière classe formera trois sous-divisions essentielles à distinguer: l'une comprendra les lieux qui, à raison de leur escarpement ou de leur hauteur excessive, sont forcément stériles; la seconde, les terres laissées en friche faute de bras ou de capitaux, et qui sans cet obstacle donneraient des produits; enfin le troisième les terrains que leur situation rend impropres à la culture, mais qui cependant n'ont pas toujours été nus et qui aujourd'hui encore seraient susceptibles d'être boisés. La question du reboisement des montagnes a excité vivement l'attention publique, il y a quelques années. Tout le monde a reconnu qu'elle était d'une haute importance, et qu'il était urgent de la résoudre; cependant rien n'a été fait. Un des principaux obstacles a été le défaut de données précises sur l'étendue de l'opération et les dépenses qu'elle devait entraîner. Il n'est pas douteux qu'en indiquant sur une carte le périmètre des terrains dont le boisement serait à la fois facile et avantageux, on jetterait un grand jour sur la question en la faisant sortir de l'état vague où elle est restée jusqu'à ce moment.

En comparant les divisions de la carte culturale de l'Isère à celles de la carte altitudinale, on remarquera que quelques-unes d'entre elles auront beaucoup de points communs. Il ne pouvait en être autrement à cause de la grande influence qu'exerce la hauteur du sol sur

les productions végétales. Toutefois, il est évident que ces deux cartes ne feront point double emploi. La première est destinée à représenter dans tous ses détails la distribution géographique des principales cultures du pays, telle qu'elle existe en effet, distribution que nous avons dit être une conséquence non-seulement de l'altitude des lieux, mais encore d'un grand nombre d'autres circonstances physiques. La seconde carte a pour objet spécial de faire connaître, à l'aide de sections faites à diverses hauteurs, la configuration extérieure du sol. A ces sections, correspondent à la vérité des ensembles de cultures différents; mais ce ne sont que des ensembles où de nombreuses exceptions peuvent trouver place.

**Lieux de consommation.** La désignation des grands marchés et lieux de consommation pour les principaux produits agricoles est liée à celle des divers genres de culture. Cette désignation poûrra être faite graphiquement par un moyen semblable à celui que j'ai proposé pour les amendements minéraux. Une série particulière de points ou une certaine couleur étant affectée à chacun des principaux produits, on fera partir des grands marchés, comme centres, des lignes rayonnantes qui, en ramifiant dans diverses directions, iront aboutir aux lieux de production. Quant aux localités qui, faute de voies de communication, ne peuvent exporter leurs produits, elles seraient signalées d'une manière spéciale. On comprend combien de pareils renseignement seraient utiles principalements à l'administration pour l'éclairer sur les débouchés à ouvrir à l'agriculture.

**Conclusion.** Je n'ajouterai plus rien à cette Note, déjà bien assez étendue pour le but que je me suis proposé. Les détails dans lesquels je suis entré me paraissent suffisants pour faire apprécier l'utilité de chacune des trois cartes dont

la réunion doit former, suivant moi, la carte agronomique. La carte altitudinale représente la structure en grand, l'ossature, si je puis parler ainsi, de la contrée. La carte minéralogique fait connaître la composition et les qualités de la mince pellicule terrestre qui constitue la superficie du sol. Enfin la carte culturale complète les notions précédentes en indiquant la nature variée de la végétation, vêtement léger et brillant qui, du fond des vallées jusqu'au sommet des montagnes, suit partout les contours du sol pour en cacher la nudité. En y ajoutant les autres renseignements relatifs à la météorologie et à l'économie rurale mentionnés plus haut et que l'on pourrait encore multiplier, on aura des cartes physiques qui seront, je crois, d'une utilité incontestable. Il n'est pas douteux qu'un pareil travail demandera beaucoup de temps et de soins, mais il n'est pas moins certain qu'il est parfaitement exécutable et qu'il promet des avantages bien supérieurs aux dépenses.

---

# RECHERCHES

## SUR LES CHALEURS SPÉCIFIQUES DES FLUIDES ÉLASTIQUES (1).

Par M. V. REGNAULT,
Ingénieur en chef des mines, professeur au Collége de France.

Je m'occupe, depuis plus de douze ans, de rassembler les éléments nécessaires à la solution du problème général dont voici l'énoncé :

« Une certaine quantité de chaleur étant donnée, » quel est, théoriquement, le travail moteur que l'on » peut en obtenir en l'appliquant au développement et à » la dilatation des divers fluides élastiques dans les di» verses circonstances pratiquement réalisables? »

La solution complète de ce problème donnerait, nonseulement la véritable théorie des machines à vapeur usitées aujourd'hui, mais encore celles des machines dans lesquelles la vapeur d'eau serait remplacée par une autre vapeur, ou même par un fluide élastique permanent dont la chaleur augmente l'élasticité.

A l'époque où j'ai entrepris ces recherches, la question me paraissait plus simple qu'aujourd'hui. En partant des notions alors admises dans la science, il était facile de définir nettement les divers éléments qui la composent, et j'imaginai des procédés à l'aide des-

(1) Ce travail a déjà été publié dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences : il a paru utile de le reproduire au moment où les recherches de M. Ericsson et celles de M. du Tremblay attirent si vivement l'attention sur les principes même de la production du travail mécanique au moyen de la chaleur.

C.

quels j'espérais parvenir successivement à en trouver les lois et à en fixer les données numériques. Mais, ainsi qu'il arrive ordinairement dans les sciences d'observation, à mesure que j'avançais dans mes études, le cercle s'en agrandissait continuellement; les questions qui me paraissaient d'abord les plus simples se sont considérablement compliquées; et peut-être n'aurais-je pas eu le courage d'aborder ce sujet si, dès l'origine, j'en avais compris toutes les difficultés.

On a admis jusque dans ces derniers temps que les quantités de chaleur dégagées ou absorbées par un même fluide élastique étaient égales quand le fluide passe d'un même état initial à un état final identique, dans quelque sens que se fît la transition; en un mot, on admettait que ces quantités de chaleur ne dépendaient que des conditions initiales et finales de température et de pression, et qu'elles étaient indépendantes des circonstances intermédiaires par lesquelles le fluide a passé. S. Carnot a publié en 1824, sous le titre de *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, un ouvrage auquel on ne fit pas d'abord grande attention, et dans lequel il admit en principe que le travail moteur produit dans une machine à feu est dû au passage de la chaleur de la source calorifique plus chaude qui émet la chaleur, au condenseur plus froid qui la recueille définitivement. M. Clapeyron a développé par le calcul l'hypothèse de Carnot, et il a fait voir que les quantités de chaleur gagnées ou perdues par un même gaz ne dépendent plus alors uniquement de son état initial et de son état final, mais encore des états intermédiaires par lesquels on l'a fait passer.

La théorie mécanique de la chaleur a repris faveur depuis quelques années et elle occupe en ce moment un grand nombre de géomètres. Mais on a fait subir au

principe de Carnot une modification importante : on a admis que la chaleur peut être transformée en travail mécanique et que réciproquement le travail mécanique peut se transformer en chaleur. Dans la théorie de Carnot, la quantité de chaleur possédée par le fluide élastique à son entrée dans la machine se retrouve en entier dans le fluide élastique qui en sort, ou dans le condenseur; le travail mécanique est produit uniquement par le passage de la chaleur de la chaudière au condenseur en traversant la machine. Dans la nouvelle théorie, cette quantité de chaleur ne se conserve pas tout entière à l'état de chaleur; une portion disparaît pendant le passage dans la machine et le travail moteur produit est, dans tous les cas, proportionnel à la quantité de chaleur perdue. Ainsi, dans une machine à vapeur d'eau sans condensation ou avec condensation, avec ou sans détente, le travail mécanique de la machine est proportionnel à la différence entre la quantité de chaleur que possède la vapeur à son entrée dans la machine, et celle qu'elle conserve à sa sortie ou au moment où sa condensation s'opère. Dans cette théorie, pour obtenir d'une même quantité de chaleur le maximum d'effet mécanique, il faut s'arranger de manière à ce que cette perte de chaleur soit la plus grande possible, c'est-à-dire que la force élastique que conserve la vapeur détendue au moment où elle entre dans le condenseur soit la plus faible possible. Mais en tous cas, dans la machine à vapeur d'eau, la quantité de chaleur utilisée pour le travail mécanique ne sera qu'une très-petite fraction de celle qu'on a été obligé de communiquer à la chaudière. Dans une machine à vapeur à détente sans condensation, où la vapeur pénètre sous une pression de 5 atmosphères et sort sous la pression de l'atmosphère, la quantité de chaleur possédée par

la vapeur à son entrée est, d'après mes expériences, de 653 unités environ ; celle qu'elle retient à sa sortie est de 637. D'après la théorie que j'expose, la quantité de chaleur utilisée pour le travail mécanique serait 653 — 637 = 16 unités, c'est-à-dire seulement 1/40 de la quantité de chaleur donnée à la chaudière. Dans une machine à condensation recevant de la vapeur saturée à 5 atmosphères et dont le condenseur présenterait constamment une force élastique de 55 millimètres de mercure, la quantité de chaleur de la vapeur entrante serait de 653 unités, et celle que la vapeur possède au moment de la condensation, c'est-à-dire où elle est perdue pour l'action mécanique, est de 619 unités. La chaleur utilisée serait de 34 unités, un peu plus que 1/20 de la chaleur donnée à la chaudière.

On obtiendra une plus grande fraction de chaleur utilisée pour le travail mécanique, soit en suréchauffant la vapeur avant son entrée dans la machine, soit en abaissant autant que possible la température de la condensation. Mais ce dernier moyen est difficile à réaliser en pratique; il forcerait d'ailleurs à augmenter considérablement la quantité d'eau froide destinée à opérer la condensation, ce qui dépense du travail moteur, et l'on ne pourrait fournir à l'alimentation de la chaudière que de l'eau très-peu échauffée. On arrivera plus facilement au même but en faisant subir une détente moindre à la vapeur d'eau dans la machine et en condensant cette vapeur par l'injection d'un liquide très-volatil, comme l'éther ou le chloroforme. La chaleur possédée par la vapeur d'eau au moment de cette condensation, et dont une très-petite portion seulement aurait pu être transformée en travail mécanique, passe dans le liquide plus volatil, qu'elle transforme en vapeur sous haute pression. En faisant passer cette vapeur

dans une seconde machine, où elle se détend jusqu'à la force élastique où l'eau d'injection peut pratiquement l'amener dans le condenseur, une portion de la chaleur est tranformée en travail moteur; et le calcul, fondé sur les données numériques de mes expériences, montre que cette quantité est beaucoup plus grande que celle que l'on aurait pu obtenir par une détente plus considérable de la vapeur d'eau dans la première machine. De cette manière on s'explique parfaitement le résultat économique que l'on peut obtenir de deux machines accouplées, l'une à vapeur d'eau, l'autre à vapeur d'éther ou de chloroforme, sur lesquelles on fait des expériences depuis quelque temps.

Dans les machines à air, où la force motrice est produite par la dilatation que la chaleur fait subir au gaz dans la machine, ou par l'augmentation qu'elle détermine dans sa force élastique, le travail moteur produit à chaque coup de piston serait toujours proportionnel à la différence des quantités de chaleur possédées par l'air entrant et par l'air sortant, c'est-à-dire, en définitive, à la perte de chaleur que fait l'air en traversant la machine. Mais, comme dans le système d'Éricsson, la chaleur que possède l'air sortant vient se déposer sur des corps auxquels le nouvel air entrant l'enlève pour la reporter dans la machine, on voit que, théoriquement, dans ces dernières machines, toute la chaleur dépensée est utilisée pour le travail moteur, tandis que dans la meilleure machine à vapeur d'eau la chaleur utilisée pour le travail mécanique n'est pas le 1/20 de la chaleur dépensée. Il est bien entendu que je néglige ici toutes les pertes extérieures, ainsi que les obstacles mécaniques ou industriels qui peuvent se présenter dans la pratique.

MM. Joule, Thomson et Rankine en Angleterre,

MM. Mayer et Clausius en Allemagne, en partant souvent de points de vue différents, ont développé par le calcul cette théorie mécanique de la chaleur, et ils ont cherché à en déduire les lois de tous les phénomènes relatifs aux fluides élastiques. De mon côté, depuis longtemps, j'ai exposé dans mes cours des idées analogues, auxquelles j'avais été amené par mes recherches expérimentales sur les fluides élastiques. Dans ces recherches, je rencontrais en effet à chaque instant des anomalies qui me paraissaient inexplicables dans les théories antérieurement admises. Pour en donner une idée, je citerai quelques exemples parmi les plus simples :

*Premier exemple.* 1° Une masse de gaz sous la pression de 10 atmosphères est renfermée dans un espace dont on double brusquement la capacité; la pression descend à 5 atmosphères.

2° Deux réservoirs de capacité égale sont placés dans un même calorimètre; l'un est rempli de gaz sous 10 atmosphères, le second est complétement vide. On établit brusquement la communication entre les deux réservoirs; le gaz se répand dans un volume double, et la pression se réduit de même à 5 atmosphères.

Ainsi, dans les deux expériences, les conditions initiales et finales du gaz sont les mêmes; mais cette identité de conditions est accompagnée de résultats calorifiques bien différents; car, tandis que dans la première on observe un refroidissement considérable, dans la seconde le calorimètre ne manifeste pas le moindre changement de température.

*Deuxième exemple.* 1° Une masse M de gaz traverse, sous la pression de l'atmosphère, un serpentin où elle s'échauffe à 100 degrés, puis un calorimètre dont la

température initiale est o degré. Elle élève la température de ce calorimètre de $t$ degrés.

2° La masse de gaz traverse, sous la pression de 10 atmosphères, le serpentin où elle s'échauffe à 100 degrés, puis le calorimètre à o degré sous la même pression; elle élève la température du calorimètre de $t'$ degrés, et l'expérience montre que $t'$ est très-peu différent de $t$.

3° La même masse de gaz traverse, sous la pression de 10 atmosphères, le serpentin où elle s'échauffe à 100 degrés; mais en arrivant à l'orifice du calorimètre à o degré, ou à un point quelconque de son parcours, le gaz se dilate et descend sous la pression de l'atmosphère; de sorte qu'il sort du calorimètre en équilibre de température avec lui et en équilibre de pression avec l'atmosphère ambiant. On observe une élévation de température $t''$ du calorimètre.

D'après les théories antérieurement admises, la quantité de chaleur abandonnée par le gaz dans l'expérience n° 3 devrait être égale à celle du n° 2, diminuée de la quantité de chaleur qui a été absorbée par le gaz pendant l'énorme dilatation qu'il a subie, puisque son volume a décuplé. L'expérience donne, au contraire, pour $t''$ une valeur plus grande que $t'$ et que $t$.

Je pourrais multiplier ces citations, mais j'anticiperais sur ce que j'ai à dire par la suite. Je réserve cet exposé pour le moment où je publierai dans leur ensemble les expériences que j'ai faites sur la compression et sur la dilation des gaz.

Quoi qu'il en soit, les exemples que je viens de citer suffisent pour montrer combien on doit être circonspect dans les conclusions que l'on tire d'expériences dans lesquelles des fluides élastiques sont en mouvement, subissent des changements d'élasticité et effectuent un

travail mécanique souvent difficile à apprécier; car les effets calorifiques produits dépendent en grande partie de l'ordre et de la manière dont ces changements se sont opérés.

Malheureusement, s'il est facile d'énoncer vaguement une théorie physique, il est très-difficile de la spécifier avec précision, de manière non-seulement à y rattacher tous les faits acquis à la science, mais encore d'en déduire ceux qui ont échappé jusqu'ici à l'observation. La théorie des ondulations lumineuses, telle qu'elle a été établie par Fresnel, en présente seule un exemple jusqu'ici en physique. La mise en équation des problèmes de chaleur envisagés au point de vue mécanique conduit, comme tous les problèmes analogues, à une équation aux différences partielles du second ordre entre plusieurs variables, qui sont des fonctions inconnues les unes des autres. Ces fonctions représentent les véritables lois physiques élémentaires qu'il faudrait connaître pour avoir la solution complète du problème. L'intégration de l'équation introduit des fonctions arbitraires dont on doit chercher à découvrir la nature, en comparant les résultats donnés par l'équation à ceux que donnent les expériences directes et aux lois que l'on déduit de ces expériences. Malheureusement, dans les recherches sur la chaleur, les expériences directes sont rarement applicables à des phénomènes simples; ordinairement elles s'attaquent à des questions complexes qui dépendent de plusieurs de ces lois à la fois, et, le plus souvent, il est difficile d'assigner la part qui revient à chacune d'elles. L'expérimentateur doit alors chercher à modifier les circonstances dans lesquelles il opère, de manière à faire varier le plus possible, dans ses expériences isolées, la part qui revient à chacun des phénomènes élémentaires et à la loi qui l'exprime.

Il obtiendra ainsi des équations de conditions qui peuvent être d'un grand secours pour la découverte de la théorie générale, car celle-ci, quelle qu'elle soit, devra toujours y satisfaire.

C'est à ce point de vue que j'ai dirigé mes recherches, et je me suis toujours appliqué à définir, de la manière la plus précise, les conditions dans lesquelles j'opérais, afin que l'on puisse tirer parti de mes expériences, quelle que soit la théorie qui finisse par prévaloir.

J'ai publié, en 1847, la première partie de mes recherches; elle compose le tome XXI des *Mémoires de l'Académie*. Depuis cette époque je n'ai pas cessé de les poursuivre; mais les expériences qu'elles ont exigées étaient si nombreuses, les calculs numériques si longs et si pénibles, qu'il m'eût été impossible de les exécuter si j'avais été abandonné à mes efforts individuels. J'ai été puissamment secondé par M. Izarn, qui m'avait déjà prêté son concours pour la première partie de mes travaux, et par un jeune ingénieur des mines, M. Descos, que M. le ministre des travaux publics a bien voulu m'adjoindre depuis deux ans, pour hâter l'achèvement de mon travail. Qu'il me soit permis de leur exprimer ici publiquement ma reconnaissance pour le zèle infatigable avec lequel ils m'ont secondé.

Les sujets sur lesquels ont porté mes nouvelles expériences sont les suivants :

1° Les relations qui existent entre les températures et les forces élastiques d'un grand nombre de vapeurs à saturation, depuis les forces élastiques les plus faibles jusqu'à celle de 12 atmosphères ;

2° Les forces élastiques de ces mêmes vapeurs à saturation et à non saturation dans les gaz ;

3° Les forces élastiques à saturation des vapeurs produites par les liquides mélanges ;

4° Les chaleurs latentes de ces vapeurs sous diverses pressions, depuis les pressions les plus faibles jusqu'à celles de 8 à 10 atmosphères ;

5° Les chaleurs latentes de vaporisation des mêmes substances dans les gaz ;

6° Les chaleurs spécifiques des gaz permanents et des vapeurs sous différentes pressions ;

7° Les quantités de chaleur absorbées ou dégagées par la compression et la dilatation des gaz, soit lorsque cette dilatation s'effectue dans un espace dont la capacité augmente, soit lorsqu'elle a lieu au passage d'une ouverture capillaire en mince paroi ou par un long tube capillaire ;

8° Les quantités de chaleur absorbées par le gaz quand il produit, pendant sa détente, un travail moteur qui se consomme entièrement dans l'intérieur du calorimètre, ou dont la plus grande partie est utilisée au dehors ;

9° Enfin, les densités des vapeurs à saturation sous diverses pressions.

Les expériences qui se rapportent à ces diverses questions, en exceptant la dernière, sont aujourd'hui à peu près terminées. Mais, comme il me faudra encore beaucoup de temps pour les mettre en ordre et les discuter avec le soin convenable, je me propose d'en présenter successivement les résultats généraux à l'Académie, en attendant que je puisse les publier dans leur ensemble.

Je l'entretiendrai aujourd'hui de mes recherches sur les capacités calorifiques des fluides élastiques.

### *Capacités calorifiques des fluides élastiques.*

On peut définir la chaleur spécifique des fluides élastiques de deux manières différentes : dans la première, on appelle *chaleur spécifique* du fluide élastique la quan-

tité de chaleur qu'il faut communiquer à un gaz pour élever sa température de o à 1 degré, en le laissant se dilater librement, de manière à conserver une élasticité constante; dans la seconde, c'est la quantité de chaleur qu'il faut lui donner pour élever sa température de o à 1 degré, en le forçant à conserver le même volume, sa force élastique augmentant.

La première de ces capacités a été appelée *chaleur spécifique du gaz sous pression constante;* la seconde a été nommée *chaleur spécifique sous volume constant.* La première définition coïncide seule avec celle que l'on a admise pour la capacité calorifique des corps solides et liquides; c'est aussi la seule qui s'est prêtée jusqu'ici à une détermination expérimentale directe.

Un grand nombre de physiciens se sont occupés, depuis un siècle, de la recherche des chaleurs spécifiques des fluides élastiques. Crawford, Lavoisier et Laplace, Dalton, Clément et Désormes, Delaroche et Bérard, Haycrafft, Gay-Lussac, Dulong, de la Rive et Marcet, ont successivement publié des recherches sur ce sujet. La plupart de ces physiciens ont cherché à démontrer par l'expérience certaines lois auxquelles ils étaient amenés par les idées qu'ils s'étaient formées *à priori* sur la constitution des fluides élastiques. Ils se sont moins appliqués à déterminer les valeurs numériques des capacités calorifiques des différents gaz par rapport à celle de l'eau liquide généralement admise comme unité, qu'à chercher des relations simples qu'ils supposaient devoir exister entre elles. Les conclusions auxquelles ils sont arrivés sont en général très-erronées.

Le travail de Delaroche et Bérard, qui fut couronné en 1813 par l'Académie, est encore aujourd'hui le plus complet sur cette matière, et celui dont les résultats s'éloignent le moins de la vérité. Cette supériorité tient

non-seulement aux soins extrêmes que ces habiles expérimentateurs ont apportés dans leurs expériences, mais encore à la méthode directe qu'ils ont suivie; tandis que la plupart des autres physiciens ont eu recours à des méthodes détournées, dans lesquelles l'élément qu'ils cherchaient n'exerçait souvent qu'une influence très-faible.

Les conclusions générales que Delaroche et Bérard ont tirées de leur travail sont les suivantes :

1° La chaleur spécifique des gaz n'est point la même pour tous, soit que l'on ait égard aux volumes, soit que l'on ait égard aux poids. Ces chaleurs spécifiques, sous ces deux rapports, ont les valeurs suivantes :

| Chaleur spécifique. | Sous le même vol. | Sous le même poids. | Pesanteur spécifique. |
|---|---|---|---|
| De l'air. . . . . . . . . | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| De l'hydrogène. . . . . | 0,9033 | 12,3401 | 0,0732 |
| De l'acide carbonique. | 1,2583 | 0,8280 | 1,5196 |
| De l'oxygène. . . . . . | 0,9765 | 0,8848 | 1,1036 |
| De l'azote. . . . . . . . | 1,0000 | 1,0318 | 0,9691 |
| Du protoxyde d'azote. | 1,3503 | 0,8878 | 1,5209 |
| Du gaz oléfiant. . . . . | 1,5530 | 1,5763 | 0,9885 |
| De l'oxyde de carbone. | 1,0340 | 1,0805 | 0,9369 |

2° Les capacités calorifiques de ces mêmes gaz, par rapport à l'eau, sont exprimées par les nombres suivants :

| | | |
|---|---|---|
| Chaleur spécifique | de l'eau.. . . . . . . . . . . | 1,0000 |
| — | de l'air atmosphérique. . . | 0,2669 |
| — | de l'hydrogène. . . . . . . | 3,2936 |
| — | de l'acide carbonique. . . | 0,2210 |
| — | de l'oxygène. . . . . . . . | 0,2361 |
| — | de l'azote. . . . . . . . . | 0,2754 |
| — | du protoxyde d'azote. . . | 0,2369 |
| — | du gaz oléfiant. . . . . . . | 0,4207 |
| — | de l'oxyde de carbone. . . | 0,2884 |
| — | de la vapeur aqueuse. . . | 0,8470 |

3° La chaleur spécifique de l'air atmosphérique, considérée sous le rapport des volumes, augmente avec

sa densité, mais suivant une progression moins rapide. Le rapport des pressions étant de $\frac{1}{1,3583}$, celui des chaleurs spécifique est de $\frac{1}{1,2396}$.

4° Delaroche et Bérard admettent, d'après des considérations théoriques, et fondés d'ailleurs sur des expériences directes de Gay-Lussac, que la chaleur spécifique des gaz augmente rapidement avec la température.

Telles sont les notions les plus précises que nous possédons aujourd'hui sur la chaleur spécifique des gaz, et qui ont été généralement admises par les physiciens. Les limites que je suis obligé de m'imposer dans cet extrait m'empêchent de discuter les méthodes qui ont été adoptées par mes devanciers, et d'exposer celles que j'ai suivies moi-même. Je dirai seulement que j'ai rencontré, dans ce genre de recherches, de grandes difficultés, non-seulement sous le rapport de l'expérimentation, mais encore au point de vue théorique. Les considérations que j'ai exposées au commencement de cette lecture le feront comprendre aisément. Aussi, bien que mes premières expériences datent de quinze ans, et que je les aie annoncées dès cette époque dans mes mémoires sur la chaleur spécifique des corps solides et liquides, ce n'est qu'après avoir employé les méthodes les plus variées, qu'après avoir forcé les éléments de correction dans des sens opposés, que je présente aujourd'hui, avec confiance, mes résultats a l'Académie.

D'après mes expériences, la chaleur spécifique de l'air, par rapport à l'eau, est :

| | |
|---|---|
| Entre — 30° et + 10° | 0,2377 |
| Entre + 10° et + 100° | 0,2379 |
| Entre + 100° et + 225° | 0,2376 |

Ainsi, contrairement aux expériences de Gay-Lussac, la chaleur spécifique de l'air ne varierait pas sensiblement avec la température. Des expériences faites sur quelques autres gaz permanents ont conduit à une conclusion semblable.

Dans des expériences sur l'air atmosphérique, faites sous des pressions qui ont varié depuis 1 jusqu'à 10 atmosphères, je n'ai pas trouvé de différence sensible entre les quantités de chaleur qu'une même masse de gaz abandonne en se refroidissant d'un même nombre de degrés. Ainsi, contrairement aux expériences de Delaroche et Bérard, qui ont constaté une différence très-notable pour des pressions qui variaient seulement de 1 atmosphère à $1^{atm.},3$, la chaleur spécifique d'une même masse de gaz serait indépendante de sa densité. Des expériences faites sur plusieurs autres gaz m'ont conduit à des conclusions analogues. Je présente cependant cette loi avec quelque réserve ; je ne puis pas encore décider si la capacité calorifique sous différentes pressions est absolument constante, ou si elle subit une variation très-légère, parce que mes expériences exigent peut-être une légère correction provenant de l'état de mouvement du gaz.

La chaleur spécifique 0,237 de l'air par rapport à l'eau est notablement plus faible que le nombre 0,2669 admis par Delaroche et Bérard ; elle résulte de plus de cent déterminations faites dans des conditions variées.

Les autres fluides élastiques dont j'ai déterminé la chaleur spécifique sont :

| | Chaleurs spécifiques | | |
|---|---|---|---|
| Gaz simples. | en poids. | en volume. | Densités. |
| Oxygène. . . . . . . . | 0,2182 | 0,2412 | 1,1056 |
| Azote. . . . . . . . . . | 0,2440 | 0,2370 | 0,9713 |
| Hydrogène. . . . . . . | 3,4046 | 0,2356 | 0,0692 |
| Chlore. . . . . . . . . . | 0,1214 | 0,2962 | 2,4400 |
| Brome. . . . . . . . . . | 0,05518 | 0,2992 | 5,39 |

En jetant les yeux sur ce tableau, on remarque immédiatement que les chaleurs spécifiques de l'oxygène, de l'azote et de l'hydrogène diffèrent très-peu les unes des autres pour des volumes égaux ; ainsi l'on serait conduit à admettre que la chaleur spécifique des gaz simples est la même quand ces gaz sont pris sous le même volume et à la même pression. Mais, pour le chlore et le brome, on a trouvé des nombres à très-peu près égaux entre eux, mais très-supérieurs à ceux que l'on a obtenus pour les autres gaz simples.

| | Chaleurs spécifiques | | |
|---|---|---|---|
| Gaz composés. | en poids. | en volume. | Densités. |
| Protoxyde d'azote. . . . . . . | 0,2238 | 0,3413 | 1,5250 |
| Deutoxyde d'azote. . . . . . . | 0,2315 | 0,2406 | 1,0390 |
| Oxyde de carbone. . . . . . . | 0,2479 | 0,2399 | 0,9674 |
| Acide carbonique. . . . . . . | 0,2164 | 0,3308 | 1,5290 |
| Sulfure de carbone. . . . . . . | 0,1575 | 0,4146 | 2,6325 |
| Acide sulfureux. . . . . . . . | 0,1553 | 0,3489 | 2,2470 |
| Acide chlorhydrique. . . . . . | 0,1845 | 0,2302 | 1,2474 |
| Acide sulfhydrique. . . . . . | 0,2423 | 0,2886 | 1,1912 |
| Gaz ammoniac. . . . . . . . . . | 0,5080 | 0,2994 | 0,5894 |
| Hydrogène protocarboné. . . | 0,5929 | 0,3277 | 0,5527 |
| Hydrogène bicarboné. . . . . | 0,3694 | 0,3572 | 0,9672 |
| Vapeur d'eau. . . . . . . . . . | 0,4750 | 0,2950 | 0,6210 |
| Vapeur d'alcool. . . . . . . . | 0,4513 | 0,7171 | 1,5890 |
| Vapeur d'éther. . . . . . . . . | 0,4810 | 1,2296 | 2,5563 |
| Vapeur d'éther chlorhydrique. | 0,2737 | 0,6117 | 2,2350 |
| Vapeur d'éther bromhydrique. | 0,1816 | 0,6777 | 3,7316 |
| Vapeur d'éther sulfhydrique. | 0,4005 | 1,2568 | 3,1380 |
| Vapeur d'éther cyanhydrique. | 0,4255 | 0,8293 | 1,9021 |
| Vapeur de chloroforme. . . . | 0,1568 | 0,8310 | 5,30 |
| Liqueur des Hollandais. . . . | 0,2293 | 0,7911 | 3,45 |
| Éther acétique. . . . . . . . . | 0,4008 | 1,2184 | 3,8400 |
| Vapeur d'acétone. . . . . . . | 0,4125 | 0,8341 | 2,0220 |
| Vapeur de benzine. . . . . . . | 0,3754 | 1,0114 | 2,6943 |
| Essence de térébenthine. . . . | 0,5061 | 2,3776 | 4,6978 |
| Vapeur de chlorure phosphreux. | 0,1346 | 0,6386 | 4,7445 |
| Vapeur de chlorure arsénieux. | 0,1122 | 0,7013 | 6,2510 |
| Vapeur de chlorure de silicium. | 0,1329 | 0,7788 | 5,86 |
| Vapeur de chlorure d'étain. . | 0,0939 | 0,8639 | 9,2 |
| Vapeur de chlorure de titane. | 0,1263 | 0,8634 | 6,8360 |

Ce tableau comprend toutes les substances gazeuses ou volatiles composées que j'ai pu préparer en quantité suffisante à l'état de pureté.

La chaleur spécifique que j'ai obtenue pour la vapeur d'eau, par un grand nombre d'expériences, est de 0,475; elle n'est guère que la moitié de celle qui a été trouvée par Delaroche et Bérard. Il est remarquable que la chaleur spécifique de la vapeur d'eau soit à très-peu près égale à celle de l'eau solide, de la glace, et seulement la moitié de celle de l'eau liquide.

Il me resterait maintenant à discuter les valeurs que j'ai trouvées pour les chaleurs spécifiques des fluides élastiques composés, par rapport à celles des gaz simples qui les constituent, et par rapport au mode de condensation que ces derniers ont subi; à comparer les chaleurs spécifiques à l'état solide, à l'état liquide et à l'état gazeux, pour plusieurs de ces corps qui ont pu être étudiés sous ces divers états. Mais je réserve cette discussion pour une communication ultérieure, dans laquelle je donnerai les chaleurs latentes de vaporisation de ces mêmes substances.

---

# NOTE

## SUR LA COMPOSITION DE L'ANDALOUSITE.

Par M. DAMOUR.

---

L'andalousite, minéral essentiellement formé de silice et d'alumine, n'est connu dans les collections que sous forme de masses bacillaires ou de prismes droits rhomboïdaux, voisins du prisme droit à base carrée et pénétrés de matières schistoïdes qui les font paraître plus ou moins opaques. Ce mélange de substances étrangères qu'on ne peut isoler, lorsqu'on cherche à étudier la composition du minéral, influe nécessairement sur les résultats de l'analyse, et les minéralogistes ne sont pas entièrement d'accord sur la formule qu'il convient d'assigner à cette espèce. Ainsi l'on ne sait pas avec certitude si l'on doit lui attribuer la formule $\dddot{\overline{Al}}{}^{3}\dddot{Si}{}^{2}$, plutôt que $\dddot{\overline{Al}}{}^{4}\dddot{Si}{}^{3}$.

Ayant eu à examiner récemment un minéral provenant du Brésil, et dont l'aspect rappelle assez bien celui des tourmalines verdâtres et transparentes que l'on recueille dans cette contrée, j'ai reconnu, au moyen de l'analyse, que ce minéral était presque entièrement composé de silice et d'alumine combinées suivant le rapport $\dddot{\overline{Al}}{}^{3}\dddot{Si}{}^{2}$.

Je dois à l'obligeance de M. Descloizeaux l'échantillon que j'ai consacré à cette recherche. Il se trouvait compris dans un lot assez considérable de cristaux et de grains roulés de cymophane du Brésil.

Ce minéral se présente en grains arrondis et transparents : on observe sur quelques échantillons l'indice des faces naturelles d'un prisme rhomboïdal et d'une modification sur les angles obtus et aigus de la base. Vu par transparence et perpendiculairement à la petite diagonale du prisme, sa couleur est le vert pâle ; elle est vert olive perpendiculairement à la grande diagonale ; enfin le minéral montre une teinte rouge hyacinthe, rouge vineux lorsqu'on le regarde perpendiculairement à la base du prisme vers les extrémités de la petite diagonale. Dès qu'on le brise, les petits fragments présentent une teinte rose uniforme sans mélange de couleur verte : sa poussière est rose pâle.

Il possède deux clivages assez faciles suivant les faces d'un prisme rhomboïdal de 90° 45'. Il raye faiblement le quartz.

Sa densité est de 3,160.

Exposé à la flamme du chalumeau, il reste complétement infusible.

Sa poussière humectée de nitrate de cobalt et fortement chauffée prend une teinte bleue.

Il n'est pas attaqué par les acides azotique et chlorhydrique : l'acide sulfurique chauffé à 300 degrés le décompose avec lenteur en dissolvant une forte proportion d'alumine et laissant un résidu de silice qui retient encore un peu d'alumine.

Pour analyser cette substance, j'en ai fait fondre 0g,5000 avec du carbonate de soude. La masse fondue avait une légère teinte verdâtre indiquant la présence d'un peu de manganèse. On l'a dissoute dans l'acide chlorhydrique et l'on a séparé la silice suivant les procédés connus.

La liqueur séparée de la silice a été traitée par le sulfhydrate d'ammoniaque. Il s'est formé un abondant

précipité d'alumine colorée en gris noirâtre par un mélange de sulfure de fer. Ce précipité, après un lavage convenable, a été délayé dans de l'eau et traité par un courant de gaz acide sulfureux qui a dissous l'alumine et le fer en laissant un faible dépôt de silice floconneuse qu'on a recueillie, et dont le poids a été ajouté à celui de la silice obtenue en premier lieu.

On a fait bouillir dans un matras la dissolution sulfureuse : l'alumine s'est précipitée, le fer est resté dissous. On a lavé par décantation le précipité d'alumine avec de l'eau bouillante, puis on l'a recueilli sur un filtre pour le faire sécher et le soumettre ensuite à une forte calcination.

La liqueur séparée de l'alumine a été additionnée d'acide azotique et d'un peu de chlorate de potasse. On l'a ensuite saturée d'ammoniaque. Le fer s'est précipité à l'état d'oxyde ferrique.

Dans un essai à part, j'ai attaqué 0,5000 du même minéral par le bisulfate de potasse chauffé au rouge sombre. La masse refroidie a été traitée par l'eau chaude. Il s'est déposé une poudre blanche (A) qu'on a recueillie sur un filtre. La dissolution renfermait, outre le bisulfate de potasse employé en excès, la majeure partie de l'alumine contenue dans le minéral. On a précipité cette terre par le sulfhydrate ammonique, puis on l'a redissoute dans l'acide chlorhydrique. La liqueur acide évaporée à siccité a donné un résidu salin qui, traité par l'acide chlorhydrique et par l'eau, a laissé déposer encore une notable quantité de silice.

La poudre blanche (A) recueillie en premier lieu s'est resserrée, par la calcination, en une masse cohérente contenant principalement de la silice, mais aussi de l'alumine et une proportion notable de potasse. Ainsi lorsqu'on attaque un silicate alumineux par le bisul-

fate de potasse, la silice qui se sépare de la dissolution du sel acide entraîne avec elle de l'alumine et de l'alcali pour former avec ces bases un composé insoluble dans l'eau. Ce mode de décomposition appliqué à certains silicates pourrait donner lieu à des erreurs dans les analyses, si l'on négligeait d'essayer la pureté de la silice recueillie. Cette même observation avait été déjà faite par M. Henri Rose, à l'occasion de ses recherches sur le sphène.

Deux analyses exécutées suivant le procédé que j'ai indiqué en premier lieu m'ont donné les résultats suivants :

| | 1re analyse. | 2e analyse. | Moyenne. | Oxyg. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|---|
| Silice.......... | 0,3675 | 0,3732 | 0,3703 | 0,1923 | 2 |
| Alumine........ | 0,6115 | 0,6174 | 0,6145 | 0,2870 | 3 |
| Oxyde ferrique.... | 0,0154 | 0,0081 | 0,0117 | | |
| Oxyde de manganèse. | traces. | » | » | | |
| | 0,9944 | 0,9987 | 0,9965 | | |

La formule $\dddot{Al}^3\dddot{Si}^2$ est celle qui représente le mieux cette composition. Le calcul donne :

| | | En 1000es |
|---|---|---|
| 2 équivalents de silice... | 1154,62 | 0,3749 |
| 3 équivalents d'alumine.. | 1925,40 | 0,6251 |
| | 3080,02 | 1,0000 |

M. Haidinger a publié en 1846 (*Annales de Poggendorff*, t. LXI, p. 295) un mémoire dans lequel il rend compte de ses expériences sur des échantillons d'une substance tout à fait semblable à celle que je viens de décrire. Ces échantillons avaient été jusque-là confondus, dans la collection du Musée impérial de Vienne, avec des tourmalines du Brésil : ils étaient indiqués comme provenant du Rio dos Americanos (province de Minas Geraès).

M. Haidinger, d'après l'examen de leurs propriétés optiques, de leur dureté, de leur densité, jugea, sans

en avoir fait l'analyse, qu'ils devaient être rapportés à l'*andalousite*. L'opinion de ce savant s'appuyait aussi sur la similitude de caractères observée entre le minéral du Brésil et certains cristaux demi-transparents recueillis à Goldenstein, en Moravie, et reconnus pour appartenir à l'espèce que je viens de nommer. Les résultats que j'ai présentés pourront fixer plus nettement l'opinion des minéralogistes sur la formule de l'andalousite. Il est à remarquer que cette formule est exactement celle que l'on a admise pour le *disthène*. Ce dernier cristallise, comme on le sait, dans le système du prisme doublement oblique : de cette identité de composition on devra tirer la conséquence que le composé $\dddot{Al}^3\dddot{Si}^2$, comprenant les espèces *disthène* et *andalousite*, nous montre dans le règne minéral un nouvel exemple de dimorphisme.

---



# ESSAI

sur

## L'EXTRACTION DU CUIVRE CONTENU DANS LES MATTES PLOMBEUSES DE LA FONDERIE D'ARGENT DE ZMÉINOGORSK (ALTAÏ) (*).

Par M. GUERNGROSS, ingénieur en chef des mines de ce district.

---

Les minerais d'argent sont souvent plombifères et cuprifères ; en sorte que les procédés ayant pour objet l'extraction du métal précieux sont ordinairement complétés par diverses manipulations relatives à l'extraction du plomb et du cuivre.

Dans la fonte crue des minerais plombo-argentifères, le plomb se volatilise en partie et passe en partie dans les laitiers : le cuivre des minerais cuivro-argentifères passe également dans les laitiers ; mais la majeure partie se concentre avec l'argent dans la fonte crue, et la teneur en cuivre de cette matte est toujours appréciable, même pour des minerais qui sont peu chargés de cuivre.

---

(*) Ce mémoire, traduit par M. Vlangaly, capitaine au corps impérial des mines de Russie, est extrait d'un rapport publié dans le *Journal des mines de Russie*. Il a spécialement pour objet de décrire les recherches intéressantes qui ont été faites dans l'Altaï pour traiter les mattes cuivreuses par dissolution. Il prouve que dès 1843 on se préoccupait des méthodes de voie humide qui prennent chaque jour plus d'importance, et que M. Ziervogel a appliquées depuis quelques années avec tant de succès au traitement des mattes cuivro-argentifères du Mansfeld. F. Le P.

Tel est le cas des minerais argentifères de l'Altaï : l'argent s'y trouve toujours accompagné de cuivre, et plus les minerais sont riches en argent, plus ils contiennent de cuivre. La quantité de cuivre dans les lits de fusion n'excède pas 1,25 à 2,50 p. 100. Cette petite teneur suffit cependant pour donner à la matte crue tirée de la première opération une teneur en cuivre de 7,5, 10 et même 12,5 p. 100.

Les minerais de plomb des mines de Zyrianofsk et principalement de Ryddersk contiennent encore plus de cuivre que les minerais d'argent, aussi les produits de la fonte, c'est-à-dire le plomb d'œuvre et la matte de plomb en sont-ils bien chargés. En étudiant constamment la quantité de cuivre contenue dans les produits des usines de l'Altaï, je me suis convaincu que les mattes riches, ainsi que les mattes désargentées obtenues dans la fonte par imbibition dans de petits foyers, contiennent rarement en cuivre moins de 10 p. 100 de leur poids; tandis que dans les mattes de plomb cette quantité atteint 14, 25 et même 33 p. 100. Souvent les mattes, lorsqu'elles sont riches en argent, contiennent jusqu'à 20 p. 100 de cuivre, et alors non-seulement on en retire difficilement l'argent, mais elles prêtent leurs mauvaises qualités au plomb d'œuvre et à la matte de plomb qu'elles produisent.

La nature ayant réuni dans les minerais l'argent et le cuivre a rendu difficile et coûteuse l'extraction de ces deux métaux, parce que le cuivre s'oppose à toutes les opérations connues jusqu'à ce jour ayant pour but l'extraction de l'argent. Ainsi, dans le traitement des minerais ou des produits argentifères au moyen du plomb, le cuivre retient l'argent avec tout autant d'énergie que le plomb met à l'en extraire : il s'ensuit que les produits restés après le traitement, comme la

matte de plomb et la matte désargentée par imbibition dans les petits foyers, contiennent encore une grande quantité d'argent; repassées dans les fourneaux à manche, elles occasionnent un nouveau déchet. Dans le traitement des minerais d'argent par le mercure la présence du cuivre est encore plus nuisible, parce qu'il forme avec l'argent un amalgame très-difficile à retirer du mélange, et qui n'extrait pas tout l'argent contenu dans les minerais.

En Allemagne, où le prix du cuivre est assez élevé, il existe plusieurs moyens de le séparer de l'argent, dont le plus mauvais est le procédé de liquation, qui consiste à fondre avec addition de plomb le cuivre contenant de l'argent, et à liquater le plomb d'œuvre obtenu. Si le procédé ne consistait que dans ces deux opérations, on pourrait encore l'appliquer sans trop de pertes; mais, après les deux opérations, on en a encore à exécuter plusieurs autres complémentaires, qui, outre la perte de la moitié du plomb employé, entraînent une perte d'argent et de cuivre et élèvent considérablement le prix de revient du métal obtenu.

L'amalgamation du cuivre noir et de la matte de cuivre offrent beaucoup d'inconvénients, et puis les prix élevés du mercure, du combustible et de la main-d'œuvre en Allemagne, rendent très-dispendieux ce mode d'extraire l'argent des produits cuivreux.

Le principal inconvénient de ces opérations consiste en ce que le cuivre ne cède par aucun moyen tout l'argent qu'il contient; selon les métallurgistes allemands, il retient 0,061 à 0,098 p. 100 d'argent.

Dans les fonderies de l'Altaï, on ne fait pas trop attention au cuivre, et sa présence dans les produits est désignée par l'expression que la matte crue est devenue

*plus dure*, et une matte pareille fait craindre une grande perte d'argent et de plomb. Il y a des cas où ce défaut de la matte, provenant d'une notable teneur de cuivre, arrête tout à fait l'extraction de l'argent, en sorte que sa teneur reste la même dans toutes les opérations qu'on lui fait subir dans les fourneaux, et c'est seulement la litharge qui passe à la troisième opération, qui est capable de s'enrichir de 0,025 à 0,050 p. 100 d'argent.

On a vu plus haut que les mattes désargentées tiennent en cuivre 10 à 12,5 p. 100 de leur poids et que cette teneur augmente dans les mattes de plomb jusqu'à 20 et 25 p. 100. Leur teneur moyenne en cuivre se maintient entre 10 et 15 p. 100. Ces produits, par leur traitement successif avec des minerais qui contiennent, outre l'argent et le plomb, une quantité notable de cuivre, s'enrichissent bien en argent; mais le cuivre passe dans les scories et se perd sans retour.

La perte de cuivre, d'un côté, et de l'autre les obstacles que la présence de ce métal oppose à l'extraction de l'argent des minerais et des produits, m'engagèrent à chercher les moyens d'extraire autant que possible le cuivre, d'atténuer ainsi son influence nuisible sur l'extraction de l'argent et de rendre en même temps les laitiers moins riches en cuivre.

Les éléments qui constituent les produits dans lesquels s'accumule le cuivre, m'indiquèrent la voie directe qu'il fallait suivre pour les débarrasser de ce métal et pour l'extraire avec la moindre dépense possible.

Toutes les analyses des mattes riches y constatèrent de 26,06 à 27,97 p. 100 de soufre. Lorsqu'on grille la matte faiblement, en tâchant autant que possible de

diminuer la volatilisation du soufre et d'oxyder les éléments de la matte, il est sûr que la plus grande partie des métaux de la matte se trouve à la fin du grillage à l'état de sulfures et de sulfates. Admettons qu'un tiers de la quantité totale de soufre se volatilise par le grillage et que les deux autres tiers se combinent avec l'oxygène et restent dans la matte; nous aurons alors une quantité d'acide sulfurique suffisante pour former, avec la plus grande partie du cuivre contenu dans la matte, un sulfate se dissolvant facilement dans l'eau et qu'on pourrait retirer de la matte par lixiviation. Voilà sur quoi j'ai basé mes premières expériences.

J'ai commencé mes premiers essais en 1843; à une matte de cuivre obtenue par la fonte des minerais pyriteux grillés de la mine de Falofsk, on a ajouté du quartz pauvre en argent des mines de Tschérépanofsk, de Nikolanefsk et du hornstein de la mine de Zméinogorsk. Ce mélange fut choisi, parce que les minerais d'argent des mines qui viennent d'être mentionnées sont pauvres et d'un traitement difficile.

Après avoir ajouté au mélange du menu charbon, on en a rempli des creusets et on les a placés dans le foyer de la forge de l'usine de Zméinogorsk. On les y a laissés pendant trois quarts d'heure. Après leur refroidissement, on y a trouvé un laitier bien pur, presque noir, ductile, et que le marteau cassait difficilement. La matte de cuivre y était indistincte. Pour en obtenir une plus grande quantité, nous dûmes faire fondre le mélange préparé dans plusieurs petits creusets. La fonte dans de grands creusets n'eut pas de succès, à cause de la mauvaise qualité de l'argile réfractaire.

Pour avoir la plus grande quantité possible du produit sulfureux, j'ai fait un mélange avec 10 p. 100 de

sulfate de soude auquel j'ai ajouté encore de la chaux et des laitiers de la fonte crue; dans un autre mélange, je n'ai ajouté que ces derniers fondants. Dans le premier cas, nous eûmes 81 kilogrammes de matte de cuivre; cette matte contenait du reste la même quantité d'argent et de cuivre que la matte obtenue sans addition de sulfate de soude, et on a constaté par les expériences suivantes que ce produit, obtenu par la fonte avec le sel, était plus apte à se séparer du cuivre qu'il contenait. La matte de cuivre argentifère, après avoir été cassée en petits morceaux, a été grillée dans un poêle, mais avec peu de succès, parce que tous les morceaux de la matte ne pouvaient pas être mis en contact avec l'air, et la décomposition elle-même fut incomplète. Je me voyais donc obligé de réduire la masse en poudre avant de la soumettre au grillage. Cette opération ne réussit pas à l'air libre; ce qui m'engagea à griller la matte de cuivre réduite en poudre dans des fours à réverbères, où on est facilement maître du feu et où on peut mieux suivre la marche de l'opération. Mais alors il n'était pas facile de surmonter quelques difficultés de manipulation qui paraissent insignifiantes, et qui exercent cependant une grande influence sur la réussite. Dans le commencement de l'action, on tâchait d'élever la température bien faiblement pendant qu'on râblait la matte de cuivre avec des rateaux en fer jusqu'à ce qu'elle commençât à brûler : puis on entretenait le feu au même point, en râblant légèrement la matte de cuivre une fois par heure. Un pareil grillage durait de 8 à 10 heures. Après avoir laissé la matte grillée se refroidir, on la jetait dans un baquet rempli d'eau; on obtenait une dissolution qu'on décantait dans un autre baquet en bois, où étaient placées de petites barres de fer. Cette opération fut répétée trois fois, après quoi le

cuivre noir précipité fut fondu dans un creuset ordinaire. La portion de la matte de cuivre grillée qui ne s'était pas dissoute dans l'eau ne contenait presque pas de soufre, mais elle contenait encore une quantité notable de cuivre. Pour l'extraire j'ai utilisé un petit four à deux soles superposées qui se trouvait dans le laboratoire. J'ai chargé la sole inférieure de $32^k,5$ de matte de plomb et la sole supérieure du résidu de la matte de cuivre grillée. Le soufre qui s'échappait de la matte de plomb se combinait avec l'oxygène et en passant sur la sole supérieure, qui contenait la matte de cuivre, se combinait en partie avec cette dernière. J'obtins par ce grillage encore 4 kilogrammes de cuivre noir, ce qui fit avec le cuivre extrait de la matte de cuivre grillée avec le sel $77^k,789$, qui donnèrent $63^k,889$ de cuivre pur. Par le traitement ordinaire des minerais de cuivre on obtint $78^k,590$ de cuivre noir, qui donnèrent $63^k,096$ de cuivre pur.

D'après les essais faits dans le laboratoire, le résidu de ce traitement contenait la même quantité d'argent que celui qui a été soumis au traitement. Il n'y eut qu'une perte de 16 p. 100 de son poids. Cette perte fut occasionnée probablement pendant qu'on chargeait le produit pour le griller, et puis il y a eu une perte mécanique dans le four même, ce qui est inévitable lorsqu'on traite de petites quantités dans de grands fours.

La richesse de ce produit en cuivre était moins de 2,5 p. 100 de son poids. Par le moyen employé précédemment, il était impossible de l'en extraire, vu que la matte ne contenait plus de soufre.

En comparant la quantité de cuivre obtenue avec celle qu'on pourrait retirer par les procédés employés ordinairement dans l'usine de Souzounsk (Altaï), nous

trouvons que la nouvelle méthode l'emporte sur l'ancienne. Le déchet admis à l'usine de Souzounsk est de 1,152 p. 100 de minerai; des matières contenant $81^k,860$ de cuivre, comme celles qui ont été employées à l'essai, y donneraient $59^k,815$ de cuivre, c'est-à-dire $4^k,074$ de moins que dans l'expérience précédente.

Ce premier essai fut exécuté dans le laboratoire sur des petites quantités. M'étant assuré ainsi de la possibilité d'extraire le cuivre contenu dans les combinaisons sulfureuses par le grillage et la lixiviation, je construisis dans l'usine de Zméinogorsk un petit four et je pris pour l'expérience $16^k,372$ de matte de plomb obtenue dans la même fonderie de la fonte des minerais de plomb.

Les essais démontrèrent que cette matte contenait 4 grammes d'argent, $2^k,870$ de cuivre et $1^k,570$ de plomb (par 100 kilogrammes de matte, $24^g,43$ d'argent, $17^k,53$ de cuivre et $9^k,59$ de plomb). Après quatre grillages ordinaires et un cinquième grillage opéré avec intervention du gaz sulfureux, j'obtins seulement 420 grammes de cuivre pur de la totalité de la matte de plomb employée. La perte de cuivre résultait en partie d'une cause mécanique, parce que les creusets se fendirent pendant la fonte du cuivre noir. Toutefois cet essai m'engagea à faire quelques modifications dans la manière de griller les minerais :

1° Je tâchais d'avoir dans le four une chaleur douce;

2° Je ne râblais pas la matte de plomb pendant le grillage; mais je la laissais se décomposer tranquillement pour que l'acide sulfurique en voie de formation pût entrer dans de nouvelles combinaisons.

Pour le second essai, j'ai pris $32^k,744$ de matte de plomb contenant 32 grammes d'argent, $4^k,912$ de cuivre et $3^k,274$ de plomb (par 100 kilogrammes de

matte, 97$^{s}$,72 d'argent, 15 kilogrammes de cuivre et 10 kilogrammes de plomb).

Le premier grillage commença à cinq heures du matin et dura jusqu'à huit heures. Cette opération eut lieu à une température modérée en remuant sans cesse le mélange. Puis on laissa le produit en repos jusqu'à sept heures du soir en le maintenant à une température de rouge cerise.

Après avoir refroidi la matte de plomb, on la plongea dans un baquet contenant plus de 120 litres d'eau. Pendant une demi-heure, l'eau ne subit presque aucun changement; ce laps de temps écoulé, on remua la matte de plomb qui occupait le fond du baquet et il survint un dégagement de chaleur tellement fort que la main ne pouvait la supporter, et l'eau prit une couleur de vert foncé. On décanta la dissolution dans deux baquets de moindre dimension, au fond desquels étaient placées de petites barres de fer qui, dans les expériences suivantes, furent remplacées par de la ferraille.

On continua à décanter l'eau qu'on versa à plusieurs reprises sur la matte de plomb jusqu'à ce qu'enfin elle ne se colorât plus. On laissait la dissolution sur le fer jusqu'à sa complète décoloration, en sorte que, prise en petite quantité sur une assiette, elle ne déposait rien sur une lame de fer.

La matte de plomb fut grillée de la même manière trois fois et perdit 2$^{k}$,865 de son poids. Cette perte fut en partie mécanique; elle fut aussi occasionnée en partie par la volatilisation du soufre et du cuivre. Dans le traitement en grand, il faut bien s'attendre à une perte dans le poids du produit traité, mais elle ne peut pas être aussi grande que dans l'essai précédent.

Du premier grillage on a obtenu 2$^{k}$,456 de cuivre noir;

du deuxième grillage, $0^k,984$ ; du troisième, $0^k,755$. En tout, les trois grillages ont rendu $4^k,195$ de cuivre noir donnant 71,25 de cuivre pur p. 100 de cuivre noir. Par conséquent de $32^k,744$ de matte de plomb contenant $4^k,912$ de cuivre, on a extrait $2^k,988$ de cuivre pur, ou bien près de 60 p. 100 du métal soumis au traitement.

Le reste du cuivre se trouve presque en totalité dans le résidu de la dissolution qui en contient encore jusqu'à 7,5 p. 100. Malgré les trois grillages auxquels on l'a soumis, ce produit contenait encore une assez grande quantité de soufre, en sorte qu'après un quatrième grillage on aurait pu encore extraire une partie du cuivre qu'il contenait. L'expérience m'ayant prouvé qu'après chaque grillage il se déposait de moins en moins du cuivre, je me suis arrêté après trois grillages dans l'idée que la matte de plomb, après avoir subi les opérations suivantes, s'enrichirait d'une nouvelle quantité de cuivre et surtout de soufre, et qu'alors l'extraction du cuivre serait plus facile et aurait lieu avec une moindre perte d'argent.

Pour le moment il est très-difficile de savoir jusqu'à quel point l'extraction (précédée d'un grillage) du cuivre contenu dans des produits argentifères peut être nuisible à l'or et à l'argent qui se trouvent dans la matte de plomb et la matte crue désargentée dans les petits foyers.

Pour répondre à cette question, il est nécessaire en effet de faire une série d'essais en grand et de déterminer avec beaucoup de soin :

1° La quantité de cuivre que peuvent donner les mattes crues désargentées et les mattes de plomb dans le traitement en grand ;

2° La perte que peut occasionner le grillage des produits mentionnés ;

3° Et enfin le nombre de fois qu'on peut soumettre les mattes crues au grillage sans que cela nuisît à la formation des mattes suivantes dans la fonte crue.

Pour résoudre cette dernière question, j'ai remplacé dans ce mélange à fondre la matte crue désargentée par une quantité égale de résidu provenant d'un essai fait précédemment avec ce même produit de la manière qu'on vient d'indiquer.

Dans le traitement en grand dans la fonderie de Zméinogorsk, on retire d'un mélange de 9.823$^{k}$,200 jusqu'à 2.946$^{k}$,960 et 3.274$^{k}$,400 de matte riche d'une teneur de 169$^{g}$,25 d'argent par 100 kilogrammes. Le traitement du mélange d'essai donna 2.357$^{k}$,568 à 286$^{g}$,42 d'argent par 100 kilogrammes ; ce qui fit un déchet de 10$^{g}$,58 d'argent par 100 kilogrammes. J'essayai d'ajouter au mélange une petite quantité de minerais de Zméinogorsk, en sorte que la moitié du mélange consistait en minerais de baryte sulfatée, et j'obtins 2.734,124 de matte crue à 273$^{g}$,40 d'argent par 100 kilogrammes, et le déchet ne dépassa pas 4$^{g}$,88 par 100 kilogrammes de minerai.

Enfin, il reste à dire encore quelques mots sur l'emploi du fer ou de la fonte dans la précipitation du cuivre des dissolutions. J'employai pour l'expérience des barres de fer, ainsi que des outils usés. On a employé 159$^{k}$,832 de différentes espèces de fer, et on avait encore à la fin de l'opération 159$^{k}$,217 ; ainsi la perte qu'occasionne l'extraction du cuivre est de 0$^{k}$,615. Mais il ne faut pas perdre de vue que dans les baquets en bois où la précipitation se faisait le fer se trouvait assez longtemps en contact avec la dissolution, et en même temps qu'il y remplaçait le cuivre qui se déposait, il se précipitait aussi de la dissolution de fer sulfaté, un peu d'hydrate de fer oxydé, qui en se mêlant au cuivre

nuisait à sa pureté. Pour éviter cela, on établit devant les fours à griller un système de conduits dans le fond desquels on dispose le fer et où les dissolutions peuvent avoir un écoulement très-lent.

Pour précipiter le cuivre on peut employer du fer et de la fonte de toute qualité et de toute forme et même des gueuses. A Schmelnitz (Haute-Hongrie), on emploie la fonte en saumons pour précipiter le cuivre.

Les usines de l'Altaï, celle de Salaïrsk (1) non comprise, traitent annuellement 51.778.938 kilogrammes de minerai et ne donnent approximativement que 10 p. 100 de matte crue désargentée d'une teneur de 10 p. 100 de cuivre, c'est-à-dire offrant quelques avantages à l'extraction du cuivre; la quantité exacte de matte crue qui pourra être soumise à cette opération sera de 4.911.600 kilogrammes. Ne retirant que la moitié du cuivre contenu, les usines gagneront par cette voie 245.580 kilogrammes de cuivre pur, et en même temps la fonte pour argent et pour plomb sera débarassée de son influence nuisible.

Les premières expériences de l'emploi de cette méthode pour l'extraction du cuivre contenu dans les combinaisons sulfureuses furent faites sur les mattes de cuivre provenant de la fonte des pyrites de la mine de Talofsk avec les minerais quartzeux des mines de Tschérépanofsk, de Nikolayefsk et le hornstein argentifère de la mine de Zméinogorsk. Ces minerais, tant par leurs qualités que par leur pauvreté en argent, qui ne dépasse pas la teneur de 24$^{g}$,43 par 100 kil., n'étaient pas considérés jusqu'à présent comme donnant la mesure pour le traitement dans les usines, et il

(1) Le district métallifère de Salaïrsk forme la partie septentrionnal de l'arrondissement des mines de l'Altaï.

est douteux qu'ils pussent l'être dans les circonstances actuelles. Mais d'un autre côté, il y a un grand nombre de gîtes quartzeux contenant de l'argent et du cuivre qui ne sont pas exploités à cause du peu de fusibilité des minerais, qui ne rendraient que la fonte plus difficile. Ces minerais contiennent en général plus de cuivre que d'argent.

Toute la contrée métallifère au nord de la mine de Zméinogorsk, sur tout le long de la petite rivière Goltzofka, contient des gîtes qu'on n'exploite pas du tout, parce que leur teneur en cuivre est assez considérable, tandis que celle en argent l'est moins. Cette opinion n'est peut-être pas tout à fait juste, parce que dans nos anciennes exploitations cuprifères, on trouvait à une certaine profondeur des minerais riches en argent. Les deux mines de Zazouriéfsk, ainsi que les exploitations de Wassiliéfsk abandonnées par une raison qui nous est inconnue, donnaient beaucoup de minerais argentifères d'une teneur assez bonne. Tout récemment, dans la mine de Bélooussofsk on exploitait des minerais de cuivre d'une teneur de 48$^{g}$,86 à 122$^{g}$,15 d'argent par 100 kil. Dans la petite mine de Komissarsk, les minerais de cuivre ont constamment une assez bonne teneur en argent. Les minerais de la mine de Tolofsk contiennent toujours jusqu'à 12$^{g}$,21 d'argent par 100 kil. de minerai. Au reste, on ne sait rien de positif de l'argent contenu dans les minerais cuprifères de l'Altaï, parce qu'il se perd sans retour dans le cuivre obtenu dans l'usine de Louzounsk, en lui donnant une teneur en argent de 100 grammes et plus par 100 kilogrammes.

Ayant en vue toutes ces circonstances et me basant sur les résultats obtenus dans les petits essais, j'ai fait les propositions suivantes :

1° Faire quelques essais de traitement des pyrites cuprifères avec les minerais d'argent pour obtenir une matte de cuivre argentifère ;

2° Griller la matte obtenue et la séparer du sulfate de cuivre par la lixiviation ;

3° Soumettre le résidu à une fonte pour argent, comme on le ferait avec un minerai riche et introduire ainsi une fonte de concentration, ou bien traiter la matte décuivrée par une autre voie.

Le conseil des mines de l'arrondissement minier de l'Altaï approuva, en 1845, le projet de ces essais en énonçant le désir :

1° Que ces essais fussent exécutés en grand sur 32.744 kilogrammes de matte de plomb, qui contient ordinairement plus de cuivre que les produits de la fonte crue en argent ;

2° De mélanger la matte crue décuivrée avec les minerais de plomb, où elle joue le rôle de fondant ; et de raffiner le cuivre de cémentation obtenu ;

3° De porter pendant les essais la principale attention sur la perte en argent et en or qui aura lieu pendant le grillage, vu que les expériences faites en 1835 dans les usines de l'Altaï démontrèrent que le grillage des produits sulfurés entraîna une perte d'argent et surtout d'or. Pour déterminer ces déchets, outre les essais faits dans le laboratoire de l'usine de Zméinogorsk, de remettre la matte de plomb destinée au grillage, le cuivre obtenu et les produits restés après la lixiviation de la matte de plomb grillée au laboratoire central de Barnaoul pour qu'on y fasse l'analyse.

La construction des appareils ne permit pas de commencer les essais avant le mois d'août et le travail commença sur 1.146 kil. de matte de plomb bocardée, obtenu de la fonte pour plomb. Le grillage a été opéré

dans un four à griller à deux soles, en chargeant chacune de 491 kil. L'opération terminée on retira la matte et après l'avoir refroidie on la plongea dans des baquets remplis d'eau. A mesure que la dissolution se saturait, on la faisait couler dans des conduits qui contenaient de la ferraille et des morceaux de fonte.

Après deux grillages, on obtint par la lixiviation et la précipitation 102k,325 de cuivre de cémentation d'une richesse de 70 grammes d'argent par 100 kil.; ce qui fait pour toute la quantité 71k,628 de cuivre pur.

Après défalcation du poids du cuivre pur, la perte a été de 42k,976 dans le poids de la matte de plomb. On doit attribuer cette perte principalement à la volatilisation du soufre. Cet essai n'a pas complétement réussi, parce que la matte de plomb, qui était restée, contenait encore jusqu'à 1k,25 de cuivre par 100 kil.; en sorte que dans toute la quantité de matte de plomb traitée, il resta 64k,258 de cuivre, faisant avec le cuivre obtenu 135k,886. Il y eut un déchet de 35k,609 dû à l'infiltration de la dissolution à travers les jointures des conduits. Il est évident qu'on peut éviter cette perte en mettant plus de soin à la construction des conduits.

La perte en argent et en plomb n'est pas considérable et peut être compensée par la diminution du déchet dans les opérations suivantes.

Les dépenses occasionnées par le grillage, la lixiviation, etc., sont peu considérables et malgré les petites quantités de matte traitée, elles ne montent pas à plus de 13f,92 par 100 kil. de cuivre obtenu. Il est certain que ces dépenses, quelque petites qu'elles soient, doivent diminuer encore dans le traitement en grand. Dans ce cas, je pense exécuter le grillage dans des fours à réverbère en y employant les gaz qui s'échappent du gueulard du haut-fourneau. Il en résultera une écono-

mie dans le combustible. Les gaz qui s'échappent des hauts-fourneaux sont toujours accompagnés de combinaisons du soufre avec l'oxygène, ce qui contribuera à la formation du sulfate de cuivre.

Pour le second essai on a pris 3.274 kil. de matte de plomb, tenant par 100 kil. 97$^{g}$,64 d'argent, 15$^{k}$,00 de cuivre et 10$^{k}$,00 de plomb.

Le grillage ne s'opérait à la fois que sur 327$^{k}$,440 de matte, et à mesure qu'il s'opérait on faisait tomber la matte dans des baquets remplis d'eau, et puis on laissait couler la dissolution dans les canaux. Après deux grillages on obtint 237$^{k}$,394 de cuivre noir ou bien 166$^{k}$,176 de cuivre pur, ce qui donne 33,8 de cuivre pur pour 100 de toute la quantité de matte soumise au traitement.

La matte de plomb perdit 327$^{k}$,440 de son poids, ce qui, en déduisant le poids de cuivre obtenu, revient à 161$^{k}$,264. Le produit qui reste contient 6,88 p. 100 de cuivre, en sorte qu'il s'en était perdu, à cause du mauvais état des conduits, une quantité de 81$^{k}$,451.

La matte de plomb grillée et décuivrée n'avait rien perdu de sa teneur en argent et en plomb.

Ces deux expériences démontrèrent que les appareils exigent une construction plus soignée, pour que la perte soit moins considérable.

En outre, je proposai d'augmenter la longueur des conduits jusqu'à 600 mètres et d'imprimer aux dissolutions une plus grande vitesse pour que toutes leurs parties passent en contact avec le fer. Il serait même encore mieux de les faire repasser dans les mêmes conduits.

Ayant soumis à la fonte en plomb 2.455$^{k}$,800 de matte grillée, on obtint un produit d'une même richesse en plomb que celui tiré des mattes non grillées; mais les

premières donnèrent un plomb d'œuvre moins dur, plus pur et d'une teneur d'argent plus considérable de 78$^{g}$,11 par 100 kilogrammes que celui obtenu par le traitement ordinaire.

C'est là le résultat des expériences que j'ai entrepris pour la réalisation de mes projets sur l'extraction du cuivre contenu dans les mattes de plomb et autres.

La Saxe, le Harz, la Hongrie et la Prusse, qui luttent depuis plusieurs siècles avec les inconvénients de l'extraction de l'argent contenu dans les produits cuivreux, pourraient bien adopter la méthode indiquée et qui leur donnera immanquablement des avantages.

Cette nouvelle méthode ne demande ni plomb, ni mercure, ni sel, en un mot rien pour l'extraction des métaux ; elle n'exige que bien peu de combustible.

En Saxe, la dernière concentration des métaux non retirés se fait dans les mattes de plomb grillées et refondues plusieurs fois, qui donnent par un traitement suivant de la matte de cuivre et celle-ci donne à son tour du cuivre noir. On expédie ce dernier dans l'usine de Gruenthal où on en extrait l'argent.

Au lieu de toutes ces opérations compliquées, je propose de bocarder la matte de plomb, de la faire passer par un crible, puis de la griller et de la soumettre à la lixiviation. Le résidu pourra être traité par la fonte crue ou la fonte en plomb, ou bien désargenté par une autre voie.

La même méthode pourrait être introduite dans le Harz et en Hongrie.

A Mansfeld, où le produit de la première fonte est une matte de cuivre argentifère, au lieu de la soumettre à l'amalgamation, il serait bien plus avantageux d'en extraire préalablement par la méthode proposée la plus grande partie de cuivre qu'elle contient et de traiter le

reste avec le mercure, le sel ou enfin avec ce qui peut offrir le plus d'avantages.

Les 2.455$^{k}$,40 de cuivre ainsi obtenus ont été expédiés à Souzounsk où l'on en a extrait 2.292$^{k}$,08 de cuivre pur très-malléable qui se laissait ployer sans se casser. Le prix de revient de ce cuivre a été de 2$^{f}$,046 le kilogramme.

---

## APPAREILS A VAPEUR. — EXPLOSIONS.

# RAPPORTS ET AVIS

## DE LA COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR

SUR

## L'EXPLOSION DU BATEAU A VAPEUR *LE PARISIEN N° 5.*

### 1° *Extrait du rapport de M. Debette, ingénieur des mines, à la commission de surveillance de Lyon.*

....... Le bateau à vapeur *le Parisien n°* 5, construit à Paris, par MM. Cochot frères, avait été expédié à Châlon-sur-Saône, tout monté, en trois tronçons qui furent ensuite réunis dans cette localité.

La chaudière de ce bateau étant à basse pression et présentant de larges faces planes, avait été dispensée de l'épreuve dans les ateliers des constructeurs, par application de l'article 28 de l'ordonnance du 23 mai 1843, et en fut également dispensée à Châlon, après la réunion des trois tronçons de la coque, par la commission de surveillance des bateaux à vapeur siégeant en cette ville.

Cette commission fit vérifier et poinçonner, le 24 février 1852, les soupapes de sûreté de la chaudière pour la pression intérieure de *une atmosphère et demie*, et après avoir visité le bateau en marche, elle lui fit délivrer un permis provisoire de navigation sur la Saône, où il fit effectivement pendant quelques semaines le service des voyageurs entre Lyon et Châlon, avant de passer sur la ligne du bas Rhône, pour laquelle il avait été construit.

Après avoir pris connaissance du rapport de la commission de surveillance de Châlon, constatant le bon état de service du *Parisien n°* 5, et après avoir successivement visité ce bateau, en stationnement au port Lépine sur la Saône, le 28 mai 1852, puis en marche de remonte, sur le Rhône, le 18 juillet suivant, de Serrières à Lyon, avec un chargement d'environ 40.000 kilo-

grammes tant en voyageurs qu'en marchandises, la commission de surveillance de Lyon n'ayant remarqué aucune altération dans la coque ou dans l'appareil moteur, crut pouvoir proposer à M. le préfet du Rhône d'accorder à ce bateau un permis de navigation sur le bas Rhône, permis qui fut délivré le 4 août même année. Depuis cette époque jusqu'au jour de l'accident, *le Parisien* n° 5 a constamment fait le service des voyageurs entre Lyon et Avignon.

Avant d'entrer dans les détails de l'accident du 4 février et d'en discuter les causes, il convient de donner la description du bateau et de l'appareil moteur en se reportant à la planche ci-annexée.

D'après le jaugeage officiel, la coque en fer de ce bateau avait pour dimensions principales :

| | mètres. |
|---|---|
| Plus grande longueur de l'avant à l'arrière. . . . . . . | 80,00 |
| Largeur entre les roues. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4,10 |
| Hauteur totale au milieu des flancs. . . . . . . . . . . | 2,35 |

Son tirant d'eau avec eau et charbon était de $0^m,58$, et sa charge maximum, estimée d'après ledit jaugeage à 233 tonneaux, avait été réduite par la commission de Lyon à 160 tonneaux, tant en voyageurs qu'en marchandises, correspondant à un tirant d'eau de $1^m,18$, sur laquelle il devait y avoir 800 voyageurs au plus : cette charge n'a d'ailleurs jamais été atteinte pendant le service du bateau.

L'existence de soutes pour recevoir les bagages et marchandises assurait d'ailleurs la stabilité du bateau, qui présentait en outre trois cloisons étanches à l'avant et autant à l'arrière, disposées de telle sorte que le compartiment de l'appareil moteur fût séparé par deux cloisons étanches, soit des chambres des premières, soit de celles des secondes.

L'appareil moteur se composait d'une chaudière à vapeur, de deux machines motrices et de roues à aubes montées sur un même arbre.

La chaudière (Pl. I, *fig.* 1 et 2) figurait extérieurement un coffre cylindrique dont la section transversale avait la forme d'un rectangle surmonté d'un demi-cylindre, pénétré lui-même à sa partie supérieure par un cylindre presque entier de moindre diamètre, composant le réservoir de vapeur. Elle présentait quatre foyers intérieurs, disposés par couples à l'avant et à l'arrière, et dont les grilles, placées près des portes de chargement à $0^m,40$ en contre-bas des ciels des foyers, occupaient

toute la longueur et offraient une inclinaison totale de 0$^{m}$,20 sur cette longueur. Les flammes des foyers juxtaposés se réunissaient dans une même boîte à fumée pour retourner ensuite à la cheminée correspondante, en traversant 201 tubes calorifères en cuivre jaune.

En somme, la chaudière du *Parisien* n° 5 présentait l'aspect de deux chaudières symétriques avec foyers intérieurs, boîte à fumée, retour de flamme tubulaire supérieur et cheminée distincte, accolées bout à bout par leurs boîtes à fumée avec interposition d'une lame d'eau et de vapeur de 0$^{m}$,20 d'épaisseur.

Les conditions de cette chaudière étaient d'ailleurs les suivantes :

| | Diamètre ou largeur. mètres. | Longueur. mètres. | Hauteur. mètres. | ÉPAISSEUR EN MILLIM. légale pour les parties cylindriques. | ÉPAISSEUR EN MILLIM. réelle. |
|---|---|---|---|---|---|
| Enveloppe extérieure du corps principal de la chaudière. . | 2,93 | 5,60 | 2,10 | 5,63 | 5,60 |
| Réservoir de vapeur. . . . . . . | 1,99 | 5,60 | 1,00 | 4,80 | 4,75 |
| Foyers (quatre) . . . . . . . . | 1,25 | 2,30 | 0,90 | 4,21 | 5,50 |
| Boîtes à fumée (deux). . . . . . | 2,93 | 0,40 | 2,00 | » | 4,50 |
| Tubes calorifères (402). . . . . | 0,08 | 3,40 | » | » | 2,50 |
| Surface de chauffe. . . . . . . . | 240 mètres quarrés. | | | | |

Capacité totale. . . . . . . . . . 26 mètres cubes, dont 15 mètres cubes environ occupés par l'eau et 11 mètres cubes formant réservoir de vapeur.

Les épaisseurs des parois cylindriques étaient donc suffisantes.

Les parois planes des foyers étaient reliées entre elles ou aux parois latérales également planes de l'enveloppe extérieure au moyen de tirants espacés au maximum de 0$^{m}$,28 à 0$^{m}$,30 d'axe en axe; il en était de même des deux parois postérieures des boîtes à fumée. Ce mode de consolidation présentait des garanties suffisantes : en admettant que la tôle doit être soumise au maximum à un effort de 3 kilogrammes par millimètre carré, et considérant une bande de tôle encastrée par ses deux extrémités, ayant une longueur $2l$, une épaisseur $b$ et une largeur d'un millimètre, chargée uniformément, on aura, $n$ étant la pression absolue en atmosphères, et l'unité de longueur étant le millimètres,

$$0{,}01033\,(n-1) = \frac{1}{4} \times \frac{8b^2}{l^2} = 2\,\frac{b^2}{l^2},\ \text{d'où}\ b = 0{,}07187\,l\sqrt{n-1}\quad (1).$$

C'est la formule employée dans le département du Rhône pour l'espacement des tirants consolidant des faces planes non expo-

sées à l'action du feu; pour celles qui sont soumises à cette action, on ajoute la constante 3, et la formule devient :

$$b = 0{,}07187\,l\sqrt{n-1} + 3 \qquad (2)$$

Dans l'espèce, en faisant $n = 1\ 1/2$ et $b = 4{,}50$ et $5{,}50$ épaisseurs réelles des parois des boîtes à fumée et des foyers, on trouve que l'espacement des tirants n'eût dû être que de $0^m{,}20$ tandis qu'il était de $0^m{,}30$ ; mais encore, dans ce dernier cas, la charge maximum de la tôle ne dépassait pas 4 1/2 kilogrammes par millimètre carré, soit 3/8 de celle correspondant à la limite d'élasticité, ou environ 1/8 de celle nécessaire pour produire la rupture. Il n'y avait donc rien à craindre de ce côté tant que les tôles ne seraient pas détériorées par l'action du feu.

La naissance des parois latérales cylindriques de la chaudière était consolidée par des tirants horizontaux espacés de $0^m{,}40$, placés entre les tubes et les foyers, et par les 201 tubes calorifères qui les reliaient deux à deux.

Les deux fonds plats du réservoir de vapeur étaient armés chacun de trois poutrelles et réunis entre eux par six tirants longitudinaux.

Enfin la jonction du corps de la chaudière avec le réservoir de vapeur était consolidée transversalement :

Dans le sens vertical et horizontal :

1° Par les deux fonds plats D et D' (*fig.* 1) ;

2° Par les deux cloisons en tôle et à larges fenêtres F, F' (*fig.* 3) ;

Dans le sens horizontal seulement :

Par trois entretoises B, B', B'', ayant une largeur de 175 millimètres et une épaisseur de 8 millimètres (*fig.* 1).

Ces dernières armatures étaient tout à fait insuffisantes, et cette insuffisance est certainement la cause première de l'accident du 4 février.

La chaudière était d'ailleurs pourvue d'une soupape atmosphérique et de quatre soupapes de sûreté de 286 millimètres de diamètre (le diamètre légal était de 273 millimètres) réglées pour la pression intérieure d'une atmosphère et demie, et de quatre tubes de niveau en verre. La pression intérieure était indiquée par un manomètre ordinaire à air libre.

Les deux machines sont à cylindre incliné, détente variable pouvant être poussée jusqu'à moitié de la course du piston, distribution par tiroir et condensation. Elles marchent habi-

tuellement avec admission de vapeur pendant les deux tiers de la course du piston dont le diamètre est de 1m,45 et la course de 1m,15. En marche, ces machines donnent moyennement 32 coups de piston par minute, et leur force nominale est de 100 chevaux chacune.

Une excentrique montée sur l'arbre des roues et entre les deux manivelles croisées sur lesquelles agissent les bielles des pistons moteurs, fait mouvoir soit directement, soit par l'intermédiaire d'un balancier, deux pompes à air verticales et à simple effet, une pompe alimentaire et une pompe de cale.

Pendant les stationnements, l'alimentation de la chaudière s'effectue au moyen d'une petite machine à vapeur spéciale.

Les roues motrices ont extérieurement un diamètre de 5 mètres. Elles portent chacune 14 aubes de 3 mètres de largeur sur 0m,48 de hauteur.

Cela dit, nous pouvons passer à la description de l'accident.

*Le Parisien n°* 5 en remonte d'Avignon à Lyon, remonte qui dans cette saison s'effectue en deux jours, partit du ponton de *Tain* le 4 février, à 9 heures du matin et arriva à 8 heures 15 minutes à *Andance*, où il s'arrêta pour faire escale au ponton, ainsi qu'il est d'usage.

Au moment où le bateau, l'escale terminée, était poussé au large, on entendit d'abord le bruit d'un tirant qui se brisait dans l'intérieur de la chaudière, puis, à la suite d'un second craquement analogue, la chaudière elle-même se déchira du côté de bâbord, suivant la ligne de jonction du magasin de vapeur avec le corps principal, sur une longueur de 5m,20, et l'enveloppe cylindrique du magasin de vapeur se releva et se replia en sens contraire à tribord. Aussitôt la vapeur s'échappa avec bruit, et l'eau tout entière contenue dans la chaudière, entraînée par la force expansive de la vapeur qui se dégageait instantanément dans sa masse par suite d'une diminution de pression de 1/2 atmosphère, s'élança au dehors, par l'ouverture d'environ 4 mètres carrés qui s'était produite, en une immense colonne qui traversant le quai vint retomber sur les toits des maisons situées de l'autre côté de ce quai. Un fragment de la chaudière de 1m,25 de longueur sur 0m,15 à 0m,20 de largeur (*fig.* 4), entraîné par le mouvement de la masse fluide, vint retomber dans la cour de l'une de ces habitations.

En même temps que l'enveloppe du réservoir de vapeur se

repliait sur elle-même à tribord, la partie du corps cylindrique de bâbord retenue par les tirants qui la reliaient à la bande du bateau ainsi que par le tuyau de décharge, était arrachée à sa jonction avec les deux fonds plats jusqu'aux tirants transversaux placés, entre les foyers et les tubes, à la naissance de la partie cylindrique. Les *fig.* 1, 2 et 3 représentent l'état de la chaudière après l'explosion; il est facile de se rendre compte des résultats de cette explosion en considérant qu'une large ouverture une fois produite, et bien qu'il s'agisse ici d'une chaudière à basse pression, cette chaudière renfermait au moment de l'accident environ 15.000 kilogrammes d'eau à 112°, susceptibles de dégager presque instantanément, par la réduction de la pression à la pression atmosphérique, une quantité de 327 kilogrammes de vapeur à 1 atmosphère 1/2 qui, en se développant au volume normal correspondant, de 380 m. c., produit l'énorme travail moteur de 1.900.000 kilogrammètres.

Tandis que l'explosion du réservoir de vapeur du côté de bâbord repoussait subitement le bateau à 3 mètres du ponton, la réaction produite sur les faces inférieures de la chaudière déterminait la rupture de la coque dans les parties voisines, et permettait à l'eau de pénétrer peu à peu dans le compartiment de l'appareil moteur. Toutefois, aussitôt après, le bateau, allégé en son centre par la vidange de la chaudière et cédant d'autre part à l'action des ceintures et d'une portion du pont (parties en bois qui ne s'étaient pas rompues en raison de leur élasticité) se redressait en s'inclinant seulement un peu à tribord en raison du poids de la chaudière repoussée de ce côté.

Un chauffeur qui, au moment de la déchirure du réservoir de vapeur, soulevait de nouveau la soupape de décharge au moyen du levier de manœuvre, a été atteint par la projection de vapeur et d'eau bouillante et fortement brûlé aux deux jambes; deux autres chauffeurs ont eu des brûlures moins graves; enfin le mécanicien, placé près des chauffeurs et qui n'a quitté qu'après eux le compartiment des appareils moteurs, fut, au moment où il en sortait, rejeté dans le bas par une action extérieure, et légèrement blessé à la jambe dans cette chute.

L'eau envahissant ensuite peu à peu le compartiment des appareils moteurs, le bateau s'affaissa de nouveau en son milieu, les ceintures en bois se rompirent sans que la séparation

des deux parties de la coque fût complète, et l'avant prit à peu près l'inclinaison figurée en *a* (*fig.* 5), tandis que la pente à l'arrière devenait encore plus forte et telle qu'il était difficile de s'y maintenir sans appui. Malgré cet affaissement progressif de la partie centrale du bateau, les chambres des voyageurs, tant des premières que des secondes, protégées par les deux cloisons étanches qui les séparaient du compartiment des machines, maintinrent la coque à flot, la poupe et la proue hors de l'eau; par suite le bateau fut entraîné à la dérive la poupe en aval et sans aucun moyen de le gouverner. Deux fois on crut parvenir à s'amarrer au moyen de câbles et deux fois ceux-ci se brisèrent, leur résistance ne leur permettant d'atteindre le but qu'en filant dessus, ce qui ne fut pas fait convenablement; l'ancre fut également jetée, mais sans aucun résultat. Enfin, après avoir traversé sans accident le pont d'Andance, et à 300 mètres environ en aval de ce pont, la partie centrale du bateau toucha le fond. La proue étant inclinée au courant et presentant une surface immergée plus considérable que la poupe, le bateau pivota ensuite sur ce point d'arrêt, de telle sorte que l'avant vint se jeter sur la rive droite contre le parapet du quai, sur lequel le choc le fit ressauter, après avoir passé par-dessus une partie de quai sans parapet.

Ce choc fut assez violemment ressenti à l'avant de la proue (où la majeure partie des voyageurs des secondes, dans leur empressement à gagner le rivage, s'étaient serrés contre le garde-corps de bâbord) pour déterminer la rupture de ce garde-corps et par suite la chute de 30 à 40 personnes dans le Rhône.

Comme il s'était écoulé environ un quart d'heure entre l'explosion de la chaudière et l'abordage contre le quai, plusieurs barques montées par des mariniers de la localité avaient eu le temps de se porter en aval du lieu du sinistre, et purent recueillir ces malheureux, qui heureusement étaient tombés sur un fond d'eau de $0^m,60$ à $1^m,20$ au plus de profondeur.

D'après les renseignements recueillis par la commission, le nombre des personnes qui ont péri victimes du double accident arrivé au *Parisien n°* 5 serait de sept (dont une douteuse).

Ce n'est que trois heures après l'accident que l'eau pénétrant peu à peu à l'arrière du bateau, malgré les cloisons étanches, cette partie s'est insensiblement enfoncée, et que, livrant ainsi une surface de plus en plus grande à l'action du courant, elle

s'est complétement séparée de l'avant et est allée, en pivotant sur la fonçure de la chaudière, sombrer complétement dans la position indiquée en *b* (*fig.* 5). En même temps l'avant reposant toujours par son taillant sur le parapet du quai, dérapait un peu à son autre extrémité et venait se placer perpendiculairement au quai.

Le bateau à vapeur *le Parisien n°* 4, appartenant à la même compagnie et affecté au même service que *le Parisien n°* 5, étant construit dans des conditions absolument identiques, la commission de surveillance de Lyon proposa immédiatement à M. le préfet du Rhône de suspendre le permis de navigation de ce bateau jusqu'à ce que les causes de l'accident arrivé au *n°* 5 qui paraissaient devoir être attribuées à un vice de construction de la chaudière, eussent été constatées (1), et qu'elle eût pu s'assurer de l'efficacité des nouveaux moyens de consolidation qui seraient appliqués à cette chaudière. Cette suspension fut prononcée par arrêté du 12 février. Toutefois, nous devons reconnaître que M. le directeur de la compagnie des *Parisiens*, de crainte d'un nouvel accident, et sans attendre la notification de l'arrêté précité, avait, dès le 5, suspendu le service du *n°* 4.

La chaudière de ce bateau fut aussitôt visitée avec soin par M. le garde-mine Rollet, qui, après avoir vérifié les épaisseurs des tôles, les dimensions des diverses parties de la chaudière et les armatures, les trouva conformes à ce qui a été dit ci-dessus et en dressa les plans et coupes. Les foyers, boîtes à fumées et tubes calorifères n'avaient subi aucune altération par l'action du feu. Toutefois, le plan horizontal d'intersection du corps cylindrique de la chaudière avec le réservoir de vapeur ne lui parut pas suffisamment armé. Cette partie n'était consolidée, outre les rivures longitudinales, que par les deux fonds plats D, D', les cloisons intermédiaires F, F' et trois entretoises B, B', B''. Si, à la rigueur, une seule entretoise B' pouvait suffire entre les deux cloisons F, F', distantes l'une de l'autre de 1 mètre, il ne paraissait pas en être de même pour les intervalles de 2$^m$,30, compris entre ces cloisons et les fonds plats. Pour s'en rendre compte, M. Rollet a été conduit, par une méthode plausible, à cette conséquence, qu'il eût fallu donner aux tirants B et B'' une section de 9.400 millimè-

(1) Les *fig.* 6 et 7 représentent cette chaudière consolidée.

tres quarrés, tandis qu'elle n'était que de 175 × 8 ou 1.400 millimètres quarrés, soit 0,15 seulement de celle qui est exigée pour les corps cylindriques par la formule réglementaire. .

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Tout porte à croire que les entretoises B et B'' étaient effectivement soumises à un effort permanent au moins égal à leur limite d'élasticité, et il est à peu près certain qu'elles n'eussent pu supporter l'épreuve, même à la pression double seulement, sans que la chaudière ne cédât ou au moins n'éprouvât une déformation sensible. Après l'enlèvement de ces entretoises, on reconnut en effet qu'elles avaient déjà subi un allongement permanent fort notable.

Dans l'espèce, on avait eu en outre le tort de relier les faces latérales de la chaudière aux bordages du bateau par des tirants *t* (*fig.* 2) placés près des entretoises B, B', B'', et communiquant à celles-ci toutes les vibrations imprimées à la partie correspondante de la coque par la réaction des palettes, le passage sur les bas-fonds ou dans des tournants, le croisement d'autres bateaux, l'abordage aux pontons, etc.

Lors de la visite du *Parisien n°* 5, après que l'arrière du bateau qui renfermait la chaudière eut été mis à flot et remorqué jusqu'à Lyon, la commission de surveillance constata, ainsi que l'avait reconnu M. Rollet (qu'elle avait délégué pour aller assister quelques jours auparavant au sauvetage de cette partie du bateau) que les tôles de la chaudière ainsi que les tubes n'avaient subi aucune altération ni aucun coup de feu; et à la suite de l'examen auquel elle se livra, il parut évident, à l'unanimité des membres présents, que la cause première de l'explosion du 4 février était l'insuffisance des armatures destinées à consolider l'intersection du corps de la chaudière avec le réservoir de vapeur, sans qu'il y eût besoin d'aller en chercher l'explication dans une augmentation considérable de pression produite par une surcharge des soupapes ou toute autre cause.

Il résulte d'ailleurs de l'ensemble des déclarations recueillies que, même un peu avant d'arriver au ponton d'Andance et par suite du ralentissement de la marche, la soupape de décharge avait été levée, qu'elle était restée ouverte pendant tout le temps du stationnement au ponton, et que la rupture de la première entretoise de la chaudière eut lieu aussitôt après qu'on eut laissé retomber cette soupape sur son siége, après avoir

poussé au large, et avant la mise en train des machines. L'examen des soupapes de sûreté lors du sauvetage de la chaudière n'a fait reconnaître aucune trace de calage ; seulement les leviers des deux soupapes postérieures avaient été pliés par la secousse à l'endroit du guide, tous deux dans le même sens, et cette secousse avait été assez violente pour arracher et projeter au loin le poids du levier de tribord, poids qui n'était pas suspendu comme il est d'usage à l'extrémité de ce levier, mais solidement attaché à celui-ci par un fort anneau en fil de fer.

En raison de la disposition adoptée pour le chauffage, un manque d'alimentation n'eût probablement donné lieu qu'à un coup de feu dans les ciels des boîtes à fumée et dans les tubes des rangées supérieures, ce qui, au moins pour les tubes, arrive très-fréquemment dans les chaudières tubulaires à flamme directe (nous ne parlons pas des ciels des foyers, qui sont toujours très-fortement armés dans ces dernières chaudières, de sorte qu'ils brûlent souvent sans qu'il en résulte aucune explosion), et ne produit ordinairement que des fuites sans autre accident plus grave. Dans la chaudière du *Parisien n°* 5, ces parties ont d'ailleurs été retrouvées parfaitement saines; on ne saurait donc admettre que soit avant, soit pendant le stationnement, aucune partie de la chaudière exposée à l'action du feu ait été émergée, et ait subséquemment par son contact avec l'eau donné naissance à la production instantanée d'une grande quantité de vapeur.

En résumé, il paraît certain que l'explosion de la chaudière du *Parisien n°* 5 ne saurait être attribuée à une contravention aux prescriptions de l'ordonnance réglementaire du 23 mai 1843 ou à celle du permis de navigation du 4 août 1852, ou à un défaut d'alimentation, mais uniquement à un vice de construction, c'est-à-dire à l'insuffisance de certaines armatures qui, soumises à une charge permanente susceptible d'altérer leur ténacité, se sont effectivement altérées peu à peu et ont cédé, le 4 février, sous l'influence d'une cause secondaire, influence qui eût pu être négligée pour une chaudière établie dans de bonnes conditions de solidité.

Il est plus que probable que ce vice de construction eût dans tous les cas été mis en évidence par l'épreuve à la pompe de pression, exécutée à une pression triple de la pression effective

et même seulement sous une pression double. Mais, par suite de cette idée généralement admise il y a quelques années, que l'explosion d'une chaudière à basse pression est peu à craindre, et qu'au cas où elle aurait lieu il n'en saurait résulter de graves conséquences, celles de ces chaudières qui présentent de larges faces planes, c'est-à-dire, en d'autres termes, la totalité des chaudières à basse pression employées sur les bateaux, ont été dispensées de l'épreuve par l'article 28 de l'ordonnance du 23 mai 1843. Le maintien de cette dispense semblerait d'autant moins fondé à l'avenir, que précisément avec la constante 3 introduite dans le calcul des épaisseurs des parties cylindriques, les chaudières à basse pression courent moins de risques de détérioration par cette épreuve que celles à haute pression, lorsque d'ailleurs les armatures destinées à consolider les autres parties de ces chaudières ont été convenablement calculées.

En conséquence, il paraît indispensable d'appeler d'une manière toute spéciale l'attention de M. le ministre des travaux publics sur ce point, et de demander la suppression d'une dispense qui paraît condamnée par l'expérience, et qui, en plaçant les chaudières à basse pression en dehors du droit commun, prive les commissions de surveillance du moyen de contrôle le plus efficace qu'elles aient à leur disposition pour constater l'état de service de ces chaudières.

En terminant ce rapport, il convient d'ajouter que depuis l'accident du 4 février, la commission de surveillance de Lyon a fait vérifier les conditions des diverses chaudières à basse pression existant encore sur des bateaux à vapeur naviguant sur le Rhône et sur la Saône, et qu'après avoir reconnu qu'elles paraissaient pouvoir supporter sans altération l'épreuve à la pompe de pression, elle les a successivement fait éprouver du consentement de leurs propriétaires.

(Dans sa séance du 2 avril 1853, la commission de surveillance des bateaux à vapeur de Lyon a approuvé ce rapport et en a adopté les conclusions.)

*2° Extrait du rapport fait à la Commission centrale des machines à vapeur, par M. Callon, secrétaire adjoint.*

...... Cet accident, qui a occasionné la mort de 6 à 7 personnes, a eu dans le pays un grand retentissement.

Les autorités locales s'en sont vivement préoccupées, et le dossier volumineux qui a été transmis par M. le ministre des travaux publics à la commission centrale des machines à vapeur comprend, entre autres :

1° Plusieurs lettres de M. le sous-préfet de Tournon à M. le préfet de l'Ardèche;

2° Les rapports de M. le procureur impérial de Tournon à M. le procureur général de la cour d'appel de Nîmes, et une lettre de ce dernier magistrat à M. le ministre de la justice;

3° Un rapport de M. l'ingénieur ordinaire des ponts et chaussées à la résidence de Tournon;

4° Enfin le rapport de M. l'ingénieur ordinaire des mines à la résidence de Lyon, et l'avis conforme de la commission de surveillance des bateaux à vapeur du département du Rhône.

Ce dernier travail, à l'appui duquel on a joint sept dessins exécutés par M. le garde-mines Rollet, entre dans les plus grands détails sur la manière dont les choses se sont passées, et ne peut laisser aucun doute sur les causes qui ont amené ce malheureux événement.

Il est parfaitement établi que ces causes ne doivent être cherchées ni dans un défaut d'alimentation des chaudières, ni dans le mauvais état des soupapes ou des autres appareils de sûreté, ni dans une infraction quelconque aux règlements, mais seulement dans l'insuffisance de certaines armatures qui, fatiguées par une charge permanente atteignant, si même elle ne la dépassait pas, la limite de l'élascité, ont fini, à un moment donné, par céder sous cette charge sans cause déterminante bien appréciable.

L'ingénieur des ponts et chaussées et le garde-mines sont arrivés, par des considérations un peu différentes, à cette même conclusion que l'accident devait arriver tôt ou tard, et était pour ainsi dire imminent toutes les fois que la vapeur atteignait dans la chaudière la limite de pression, c'est-à-dire une demi-atmosphère effective.

La commission de surveillance de Lyon propose à l'unanimité de supprimer l'article 28 de l'ordonnance réglementaire du 23 mai 1843, et de soumettre les chaudières de bateau à faces planes aux épreuves exigées par la même ordonnance. (Toutefois, M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées, président de cette commission, exprime dans sa lettre d'envoi, l'avis que dans le but de rendre la mesure moins rétroactive pour les

chaudières construites sous le régime de cette ordonnance et en activité de service, on devrait se contenter d'une pression double de la pression effective au lieu d'une pression triple.)

...... La suppression de l'article 28 de l'ordonnance de 1843 est une question qui mérite d'être sérieusement examinée, et une étude approfondie conduira, sinon peut être à la suppression complète, au moins à une modification importante.

Si l'on avait pu penser qu'une chaudière, par cela seul qu'elle est à basse pression, ne peut, en cas d'explosion, produire des effets désastreux, l'affaire qui nous occupe aujourd'hui montrerait une fois de plus combien cette opinion est erronée. Il est facile d'ailleurs de s'en rendre compte, en calculant la quantité de vapeur qui se forme presque instantanément au moment où l'eau de la chaudière revient à la simple pression atmosphérique et à la température correspondante de 100°.

Dira-t-on que l'épreuve à une pression triple risquera plus d'énerver les éléments d'une chaudière à parois planes que ceux d'une chaudière cylindrique? Il est évident qu'il n'en est rien, au moins pour les faces planes convenablement armées et entretoisées; les épreuves (à une pression double seulement, il est vrai) auxquelles sont journellement soumises les chaudières de locomotives qui, elles aussi, ont des surfaces planes, le démontrent suffisamment. On s'en rend compte également par des considérations théoriques en considérant, ce qui n'est qu'approché, une bande de la paroi plane comprise entre deux lignes d'entretoises, comme un solide encastré d'une largeur indéfinie, d'uneépaisseur égale à celle de la tôle, et d'une longueur égale à la distance de ces lignes d'entretoises.

On reconnaît ainsi facilement : 1° que l'épaisseur de la tôle doit varier proportionnellement à la distance entre les entretoises et à la racine carrée de la pression effective dans la chaudière; 2° que pour une chaudière donnée la fatigue maximum des fibres de la tôle croît proportionnellement à la pression effective.

On conclut de ce dernier résultat qu'en soumettant une chaudière à parois planes convenablement entretoisées à une pression double ou triple, on ne fait supporter aux fibres les plus exposées qu'un effort double ou triple de celui qui est dû à la pression permanente, absolument comme pour une chaudière cylindrique.

Ces remarques suffisent pour faire douter qu'il soit bien rationnel de dispenser un système de chaudières d'une mesure qui offre en définitive plus de garanties que l'examen même le plus minutieux, surtout lorsque cette dispense s'applique précisément aux appareils dont les explosions peuvent amener les plus grands malheurs.

D'après les considérations qui précèdent, j'estime qu'il y a lieu par la commission centrale des machines à vapeur d'émettre l'avis suivant :

1° L'explosion du bateau à vapeur *le Parisien n° 5*, a été produite, non par imprudence ou par infraction aux règlements, mais par défaut de solidité de certaines parties du générateur. Il est vraisemblable qu'une épreuve à la pression triple eût manifesté ce défaut de solidité.

2° Cet accident est une nouvelle preuve que les chaudières, même à très-basse pression, sont sujettes aux explosions, et que ces explosions peuvent, dans certains cas, avoir des conséquences désastreuses.

Il paraît probable qu'au moins certaines formes de chaudières à parois planes pourraient être, sans inconvénient, soumises à une épreuve, et il serait très-opportun d'examiner s'il ne conviendrait pas ou de modifier, ou même de supprimer l'article 28 de l'ordonnance du 23 mai 1843.

3° Enfin, en attendant que cette question importante reçoive une solution, il est utile, d'une part, de faire connaître aux ingénieurs les circonstances de l'explosion du *Parisien n° 5*, en insérant dans les Annales des mines. avec le présent avis, un extrait du rapport de M. Debette, et de l'autre d'appeler l'attention des commissions de surveillance sur la nécessité, à défaut de l'épreuve par la pompe de pression, de vérifier toujours avec le plus grand soin, si les chaudières à basse pression et à parois planes soumises à leur inspection, sont bien, ainsi que le prescrit l'article 23 de l'ordonnance déjà citée, renforcées par des armatures suffisantes.

(La commission centrale, dans sa séance du 6 mai 1853, après en avoir délibéré, approuve les observations contenues dans ce rapport, et en adopte les conclusions.)

# NOTICE

SUR LES MINES DE LA BIGORRE (HAUTES-PYRÉNÉES).

Par M. Ph. DEBETTE, ingénieur des mines.

---

La Bigorre (*voyez* la carte de Cassini) forme la totalité du département actuel des Hautes-Pyrénées, à l'exception de la vallée d'Aure et des trois autres vallées situées sur la rive de la Neste. Ce pays renferme un grand nombre de gîtes minéraux peu connus, ce qui pourra donner quelque intérêt à cette notice dont les éléments ont été recueillis sur les lieux en 1851 et 1852.

Ces gîtes sont de deux sortes : les gîtes de combustibles minéraux et les gîtes métalliques.

*Gîtes de combustibles minéraux.*

A l'exception des tourbes que l'on rencontre en certaine abondance, non loin de Pontac et de la limite du département des Basses-Pyrénées, le seul combustible fossile que l'on trouve en Bigorre doit être classé parmi les bois bitumineux ou lignites. Les principaux gîtes où sa présence a été reconnue sont ceux d'Ossun, près Bénac, et d'Orignac, qui sont situés dans la même direction par rapport à l'axe de soulèvement des Pyrénées, et dans le même terrain que ceux qui existent en divers points du plateau de Lannemezan, de la Haute-Garonne, de l'Ariége et de l'Aude.

Le gîte d'Ossun, près Bénac, a été, à diverses époques, l'objet de travaux de recherches assez suivis et d'une demande en concession qui n'ont pas eu de suite, tant à cause du peu d'importance du gîte que de la difficulté de trouver un écoulement pour les produits de l'extraction et d'autres motifs que nous ne croyons pas devoir signaler ici. Le combustible que l'on a retiré des travaux d'exploration était du reste absolument de la même nature que celui d'Orignac. **Mine de lignite d'Ossun, près Benac.**

Le gîte de lignite d'Orignac (Pl. II, *fig.* 1), sis commune de ce nom, à 7 kilomètres de Bagnères-de-Bigorre, dans le terrain crétacé inférieur, a également été demandé en concession et à **Mine de lignite d'Orignac.**

plusieurs reprises depuis soixante ans. Cependant il n'a été reconnu, jusqu'en 1852, que par des travaux de recherche très-rapprochés les uns des autres et situés à 500 mètres environ au-dessous du village d'Orignac, sur la pente douce qui descend de ce village au ruisseau de Merilheu. Ces travaux consistent en deux entailles à ciel ouvert, dont l'une est actuellement comblée, et en un puits placé entre les entailles et le village, et également comblé. Dans l'entaille existante, on trouve immédiatement au-dessous de la terre végétale 3 mètres environ de lignite en couche sensiblement horizontale avec de petites couches intercalées d'argile bleuâtre. Cette argile, essayée dans les faïenceries de la vallée de Campan, y a été reconnue de bonne qualité. Les couches de lignite paraissent se prolonger sur le plateau qui sépare les ruisseaux d'Arrêt-Derrière et d'Arrêt-Devant, et dont la crête passe par le village d'Orignac, mais il n'a été fait aucunes recherches sur le versant ouest de ce plateau, non plus que sur la rive droite du ruisseau d'Arrêt-Devant dans la commune de Ciotat.

Le lignite que l'on voit dans l'entaille que nous avons examinée est en partie altéré et terreux, en partie à l'état de bois bitumineux, en partie enfin à l'état de véritable lignite présentant des mouches ou des veines de jayet. Une partie de celui extrait des anciens travaux de recherches est encore déposé en tas dans la cour d'une maison d'Orignac.

Ce combustible brûle avec une faible flamme et répand en brûlant une odeur bitumineuse et sulfureuse très-désagréable. Par calcination, il donne un charbon qui ressemble en général au charbon de bois et qui brûle de même, quoique plus difficilement et avec une faible odeur sulfureuse, en développant une grande chaleur rayonnante. Les maréchaux du pays n'ont pu s'en servir à l'état cru, mais ils ont reconnu qu'on pouvait l'employer après calcination, il chauffe alors, disent-ils, plus que le charbon de bois, mais il a l'inconvénient de faire couler le fer, ce qui tient évidemment à sa nature et surtout au soufre des matières terreuses qu'il renferme.

Voici l'essai de diverses variétés de ce lignite que j'ai recueillies sur place.

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Charbon | 0,1830 | 0,2872 | 0,2895 | 0,2694 | 0,2802 | 0,2738 |
| Cendres rougeâtres | 0,1450 | 0,0778 | 0,0600 | 0,1417 | 0,1183 | 0,1158 |
| Matières volatiles | 0,6720 | 0,6350 | 0,6505 | 0,5989 | 0,6015 | 0,6104 |
| | 1.0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| Plomb réduit | 15,00 | 17,40 | 15,47 | 14,00 | 16,15 | 15,72 |
| Pouvoir calorifique total, en calories | 3,450 | 4,002 | 3,558 | 3,220 | 3,815 | 3,636 |
| Charbon équivalent aux matières volatiles | 0,2582 | 0,2246 | 0,1655 | 0,1214 | 0,1918 | 0,1886 |
| Coke obtenu, déduction faite des cendres | 0,3280 | 0.3650 | 0,3495 | 0,4011 | 0,3985 | 0,3896 |
| Charbon | 0,2140 | 0,3114 | 0,3080 | 0,3022 | 0,3178 | 0,3097 |
| Matières volatiles | 0,7860 | 0,6886 | 0,6920 | 0,6978 | 0,6822 | 0,6903 |
| | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1.0000 |
| Charbon équivalent aux matières volatiles | 0,3020 | 0,2422 | 0,1761 | 0,1415 | 0,2210 | 0,2133 |

1. Lignite terreux, friable, gris-blond clair. Poussière d'un gris cendré. Par calcination, il s'agglutine un peu et donne un coke solide et argentin.

2. Lignite terreux, solide, bois bitumineux brunâtre. Poussière brun de café clair. Par calcination, il laisse un coke de même forme noir, solide, et ressemblant à du charbon de bois.

3. Lignite terreux, solide, bois bitumineux brun-rougeâtre. Poussière brun de café un peu rougeâtre. Calciné en morceaux, il s'agglutine un peu sur les bords et donne un coke solide, noir et recouvert à la surface d'une pellicule argentine.

4. Lignite brun-noirâtre, solide, friable, à cassure présentant des points brillants. Poussière brune, donne par calcination un coke noir, assez lourd, de même forme et fissuré en tous sens.

5. Lignite brun-noirâtre, solide, à cassure présentant quelques veinules brillantes, d'un noir de jayet. Laisse par calcination un coke de même forme, solide, noir et semblable à du charbon de bois.

6. Lignite brun-noirâtre, solide, à cassure présentant des bandes brillantes d'un noir de jayet. Poussière brune. Laisse après calcination un coke de même forme, solide, noir, et ressemblant à du charbon de bois.

Les quelques anomalies que paraissent présenter les pouvoirs

calorifiques déterminés par la fusion avec la litharge des diverses variétés des lignites ci-dessus tiennent à la proportion variable et fort notable de pyrite qu'elles renferment toutes à l'état de mélange intime, non visible à l'œil nu. Cela posé, il est à remarquer qu'à l'exception de la première variété, qui est évidemment un lignite altéré par l'action des agents atmosphériques, toutes les autres variétés présentent, déduction faite des cendres, la même composition à moins d'un centième près, savoir : 0,31 de charbon et 0,69 de matières volatiles, fait analogue aux résultats des observations de M. Grüner sur la composition chimique des charbons des divers puits du bassin de la Loire. Le pouvoir calorifique moyen des variétés compactes est à l'état cru de 3.753 calories, et après carbonisation de 5.888 calories.

Il est certain que ce combustible pourrait avantageusement être utilisé dans les fours à chaux du pays en leur faisant subir quelques modifications. Une exploitation sérieuse et une fabrication de chaux au lignite et dans des fours coulants, rendrait au pays situé au nord de Bagnères un service d'autant plus considérable que les avantages de l'emploi de la chaux comme amendement, qui est là parfaitement approprié à la nature du sol, y sont parfaitement connus, et que la consommation n'en est restreinte que par le prix élevé, résultat d'une fabrication exclusive au bois, dans des fours intermittents.

Le combustible d'Orignac pourra également servir au traitement des minerais de plomb que sont susceptibles de fournir les nombreuses mines de la Bigorre dont nous parlerons plus loin, et que le manque de bois, résultat de la dévastation déjà accomplie ou qui se continue chaque jour des forêts qui couronnaient les Pyrénées le siècle dernier, rendrait pour la plupart inexploitables sans cette ressource. Enfin ce lignite peut servir, sinon au traitement complet, du moins au grillage des blendes, dont le pays renferme des gîtes d'une puissance considérable.

En 1852, M. de Querrieu a fait explorer avec soin le bassin de lignite d'Orignac, au moyen de nombreux coups de sonde dont les positions sont indiquées par des chiffres sur la carte des environs du village d'Orignac (Pl. II, *fig.* 1).

M. Bigant, ingénieur civil, qui a dirigé ces travaux, m'a communiqué le tableau ci-joint de ces sondages qui lui a permis de dresser les coupes (*fig.* 1 et *fig.* 3) du bassin suivant deux directions rectangulaires.

**MINE DE LIGNITE D'ORIGNAC. — Tableau des principaux coups de sonde dont le nivellement a été fait en prenant pour base un niveau à 3 mètres au-dessus de la couche près du chantier ouvert à [illegible] mètres Est de l'église du village.**

| Numéros d'ordre du plan. | Distance d'un coup de sonde à l'autre. | Hauteur du terrain au-dessus du point de départ. | Profondeur du sondage. | Profondeur à laquelle le lignite a été rencontré. | Épaisseur de la couche. | INDICATION des divers terrains rencontrés avant la couche de lignite. | INDICATION des terrains rencontrés après la couche de lignite. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | m.cub. | | | | | |
| 1 | » | 29,48 | 22,00 | » | » | Arg. jaune et blanche. mêlées. . . . . . . . . . . . . . . | |
| 2 | 105,80 | 21,71 | 11,00 | 8,00 | 2,00 | Arg. j. 5,00 Arg. g. 3,00 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 1,00 |
| 3 | 70,50 | 27,52 | 15,00 | 11,00 | 3,25 | Arg. j. 6,00 Arg. g. 5,00 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 0,75 |
| 4 | 158,65 | 26,79 | 21,25 | 22,80 | 1,35 | Arg. j. 20,80 Arg. g. s. 2,00 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. n. . . . . . 0,10 |
| 5 | 280,00 | 35,53 | 20,70 | 15,95 | 4,35 | Arg. j. 11,40 Arg. g. 4,55 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 0,40 |
| 6 | 115,65 | 37,09 | 13,00 | » | » | Arg. j. 11,00 Schiste calcaire argileux très-dur. 2,00 | » |
| 7 | 310,00 | 45,65 | 37,00 | 31,50 | 4,10 | Arg. j. 17,50 Arg. g. 12,00 Arg. et lig. mêlés. . 2,00 | Arg. g. n. . . . . . 1,40 |
| 8 | 248 80 | 30,26 | 15,00 | 10,00 | 4,00 | Arg. j. 6,00 Arg. g. 4,00 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . 1,10 |
| 9 | 102,50 | 41,57 | 14,00 | 12,50 | 0,50 | Arg. j. 12,50 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. et lig. mêlés. 1,00 |
| 10 | 123,00 | 32,24 | 14,50 | 11,50 | 2,00 | Arg. j. 11,45 Arg. g. 0,05 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. n. . . . . . 1,00 |
| 11 | 208,00 | 36,29 | 6,00 | » | » | Arg. j. et calcaires roulés. . . . . . . . . . . . . . . . 6,00 | » |
| 12 | 230 du n° 7 | 24,03 | 17,50 | 11,50 | 5,00 | Arg. j. 7,00 Arg. g. 4,50 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. n. . . . . . 1,00 |
| 13 | 58,20 | 12,94 | 5,50 | 2,50 | 2,00 | Arg. j. 2,00 Arg. g. et lig. mêlé. . . . . . . . . . . 0,50 | Arg. g. n. . . . . . 1,00 |
| 14 | 7,84 | 5,00 | » | » | » | Arg. j. très-siliceuse et calcaires roulés. . . . . . . . . . | » |
| 15 | 130,00 | 18,09 | 14,20 | 7,50 | 3,50 | Arg. j. 3,00 Arg. g. 4,50 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. mêlée de lig. 2,20 } Arg. g. |
| 16 | 160,00 | 11,02 | 6,00 | 3,00 | 1,20 | Arg. j. 2,50 Arg. g. 0,50 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. mêlée de lig. 0,80 } n. 1m. |
| 17 | 213,50 | 30,24 | 15,00 | 12,00 | 2,00 | Arg. j. 8,00 Arg. g. 2,00 Arg. g. et lig. mêlés. 2,00 | Arg. g. . . . . . . . . 1,00 |
| 18 | autre ligne. | 13,00 | 7,00 | » | » | Arg. j. 7,00 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | » |
| 19 | 41,46 | 12,03 | 7,00 | 2,00 | 2,50 | Arg. j. 1,95 Arg. g. 0,05 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 2,50 |
| 20 | 39,36 | 3,65 | 5,00 | » | » | Arg. j. siliceuse et calcaires roulés. . . . . . . . . . 5,00 | » |
| 0 point de départ. | 63,10 | 7,00 | chantier. | 1,00 | 3,00 | Arg. j. 1,00 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 3,00 |
| 21 | 59.30 | 11.65 | id. | 1,50 | 1,00 | Arg. j. 1,45 Arg. g. 0,05 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. mêlée de lig. 0,50 |
| de 21 à 5 | 190,00 | id. | id. | » | » | . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | » |
| 29 | 179,00 | 53,93 | 42,30 | 42,00 | entré seulement de 0,50 dans la couche. | Arg. j. 27,00 Arg. g. 12,00 Arg. g. siliceuse. . 3,00 | Arrêté par tubes aplatis et éboulement. |
| 30 | 550,00 | 32,00 | 18,50 | 14,50 | 1,00 | Arg. j. 10,00 Arg. g. 4,50 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. et lig. mêlés. 3,00 |
| 31 | 110,00 | 18,00 | 7,50 | 4,60 | 1,40 | Arg. j. 3.50 Arg. g. 1,10 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. lig. mêlés. . 1,80 |
| 65 | 210.00 | 28,00 | 17,60 | 15,60 | 0,50 | Arg. j. 10,00 Arg. g. 5,60 . . . . . . . . . . . . . . . | Arg. g. . . . . . . . . 1,50 |

NOTA. Arg. j. et b. veut dire, Argile jaune et blanche. Arg. j. veut dire, Argile jaune. | Arg. g. veut dire, Argile grise. Arg. g. n. veut dire, Argile grise noirâtre. | Mêlée de lig. veut dire, Mêlée de lignite.

Un coup de sonde n° 66 donné près du chantier n° 21 a rencontré une deuxième couche de lignite à 10 mètres au-dessous de la première. L'espace entre les deux couches est occupé par des argiles gris-noirâtres ou plutôt bleuâtres en commençant, plus grises et plus siliceuses en approchant de la deuxième couche jusqu'à prendre la couleur et l'apparence du grès houiller pulvérisé. Cette seconde couche en cet endroit n'avait que 0$^m$,30 de lignite compacte et 2 mètres de lignite en lames alternant avec des couches minces d'argile bleuâtre.

Il est probable que sur d'autres points cette seconde couche qui n'a pas été suffisamment explorée se présente en entier à l'état de lignite compacte; ces variations s'observent d'ailleurs dans la couche supérieure.

Le lignite extrait par M. Bigant a été essayé pour le chauffage de l'hospice de Bagnères, qui en a consommé une quantité assez considérable.

Il a également été utilisé pour la cuisson de la chaux dans un petit four coulant. Il ne s'attache nullement aux parois et se délite plutôt au feu, ce qui a offert quelques difficultés dans les premiers essais; mais en diminuant les dimensions du four de forme ovoïde, qui a actuellement 3 mètres de hauteur totale, 2 mètres de diamètre au ventre et 0$^m$,90 aux bouches, dont le sol est formé par des grilles qui permettent d'enlever les cendres et d'activer le tirage, on a obtenu des résultats très-satisfaisants, et la fabrication économique de la chaux avec le lignite d'Orignac est aujourd'hui entièrement résolue.

Afin d'augmenter les débouchés de ce combustible, M. de Querrieu doit faire monter en 1853, à Orignac, une briqueterie, dont les produits trouveront un écoulement avantageux dans le pays, qui tire ses briques de la Haute-Garonne et les paye fort cher.

Gîte de Saint-Pé. D'après le dire de M. Cuyaubère, ancien exploitant de carrières à Saint-Pé-en-Bigorre, il se souviendrait que dans une carrière de schistes exploités pour ardoises par son père sur la rive droite du Gave, on aurait recoupé un banc de charbon minéral qui, moins solide que le schiste, aurait déterminé l'éboulement des tailles et l'abandon de la carrière. M. Cuyaubère n'ayant en sa possession aucun échantillon du minéral qu'il prétend être du charbon de terre, et l'époque reculée à laquelle remonte l'éboulement ci-dessus ne m'ayant pas permis de contrôler ces renseignements par le récit de témoins ocu-

laires, je ne les reproduis ici que comme une simple indication qui ne doit être acceptée qu'après vérification.

*Gîtes métallifères.*

La Bigorre renferme un très-grand nombre de gîtes métalliques de plomb, de zinc et de cuivre dont quelques-uns seulement ont été l'objet de travaux d'exploitation suivis. Mine de zinc de la Gousserte.

Les gîtes de plomb sont ordinairement assez pauvres en argent, mais quelques-uns sont abondants en minerai. Les gîtes de minerai de zinc, constamment à l'état de blende, présentent en quelques localités une puissance considérable; les gîtes de cuivre, au contraire, paraissent beaucoup moins importants. Toutefois on pourra en tirer un parti avantageux en leur appliquant les procédés qui font actuellement la richesse des concessionnaires de Chessy et de Sainbel.

Ces divers gîtes sont du reste, quelle que soit leur nature, presque tous situés de manière à ce que leur exploitation offre peu de difficultés et à peu de distance des routes nationales ou au moins de chemins vicinaux de grande communication. Dans leur description nous adopterons la classification par vallées comme étant la plus naturelle.

Les diverses mines de la Bigorre furent comprises dans la concession de toutes les mines du royaume accordée pour trente ans au sieur Galabin, en février 1722. Elles en furent distraites pour être concédées en 1728 au baron de Lœwen, suédois, et, après la mort de ce dernier, elles furent de nouveau comprises dans la concession accordée en 1737 au sieur Crozet et annulée en 1749, qui comprenait les diocèses de Tarbes, Comminges et Couserans. Cette dernière concession, à l'exception du Couserans, concédé à M. le marquis de Villepeinte, fut accordée de nouveau, le 12 décembre 1780, au sieur de Gestas.

Le 31 janvier 1789, une nouvelle ordonnance détacha de la concession de Gestas, en faveur du prince et de la princesse de Rochefort, toutes les mines qui font l'objet de cette notice. Les deux concessions de Gestas et de Rochefort sont devenues perpétuelles, en vertu de la loi du 21 avril 1810, et sont actuellement, savoir: la concession de Gestas entre les mains de la société Cavelan, qui l'a affermée à une compagnie anglaise, et la concession de Rochefort entre celles de M. le marquis de Querrieu.

La délimitation de ces deux concessions n'a pas encore eu lieu, mais elle sera prochainement effectuée, ce que réclame impérieusement l'intérêt de l'industrie minérale de cette partie des Pyrénées.

*Vallée de l'Esponne.*

Mine de zinc de la Goussette.

La mine de zinc de la Goussette, au quartier de ce nom, montagne de Conoque, commune de Baudéan, citée par Diétrich sous le nom de mine de l'Esponne, comme présentant un affleurement de minerai de 20 mètres de large sur 40 mètres de hauteur, est loin de présenter la richesse que sembleraient indiquer ces renseignements. La course à pied de Bagnères-de-Bigorre, aller et retour, demande huit heures de marche continue. Les chars peuvent arriver jusqu'aux dernières cabanes d'Antayente, à 10 kilomètres à peu près de Bagnères-de-Bigorre et à environ 3 kilomètres de la mine. Sur cette dernière distance la pente est partout assez forte pour la descente en traineaux, sauf en quelques points, où elle l'est beaucoup trop, et qui présentent certaines difficultés; toutefois je considère l'établissement d'un chemin de traînage comme praticable dans cette localité à peu de frais.

Pour se rendre à la mine on suit d'abord, à partir de Bagnères, la route de Campan jusqu'à l'embranchement de l'Adour de l'Esponne, un peu au-dessus du bourg de Baudéan. On tourne alors à droite et on suit la vallée de l'Esponne pendant environ 2 kilomètres; on passe ensuite l'Adour de l'Esponne et on suit la rive droite en s'élevant assez lentement jusqu'au hameau d'Antayente, situé presque vis-à-vis l'église de l'Esponne. A partir de ce point, on tourne le dos à l'Adour et on continue à gravir la montagne de Concques, que l'on voit devant soi, en remontant le ruisseau qui descend de la vallée de Binarosse. Arrivé aux dernières cabanes d'Antayente, on tourne à droite en laissant sur sa gauche le ruisseau et la vallée de Binarosse, pour prendre le sentier sinueux et roide qui conduit successivement aux cabanes de Courbet, à celles de Concques et enfin au petit lac de la Goussette, le seul du reste que l'on rencontre dans cette course. Il faut trois bonnes heures pour aller de Baudéan à ce lac, et deux heures pour le retour. Aussitôt que l'on a dépassé le lac, on aperçoit sur la rive gauche du ruisseau, et par conséquent sur la droite en montant, à une distance d'environ 300 mètres et dans le ter-

rain primitif, le gîte de zinc que l'on reconnaît à la teinte ferrugineuse de son affleurement et à l'étendue de sa raillère, (on donne le nom de *raillères*, dans les Pyrénées, aux amas de pierres roulantes qui couvrent en forme de talus les parties inférieures des pentes d'une certaine déclivité, soit qu'elles proviennent d'abatages faits par la main des hommes, soit qu'elles résultent d'éboulements naturels).

L'affleurement visible du gîte au-dessus de sa raillère présente effectivement une surface d'environ 20 mètres de long suivant l'axe de la vallée sur 40 mètres dans le sens transversal et couchée suivant le flanc de la vallée sur lequel elle fait une légère saillie. Le minerai est assez rare et très-mélangé de gangue à la partie supérieure de l'affleurement, et il ne commence à se montrer avec une certaine abondance qu'à quelques mètres au-dessus de l'arête supérieure de la raillère, à 40 ou 50 mètres au-dessus du ruisseau. En ce point, qui forme la base de l'affleurement visible, nous avons reconnu dans l'épaisseur du gîte l'existence d'au moins cinq veines de minerai d'une puissance variant de 0$^{m}$,15 à 1 mètre, s'aminoissant vers le haut et paraissant au contraire s'élargir vers le bas sous la raillère, et présentant une puissance réunie de plus de 2 mètres de minerai massif composé de blende brune et d'une forte proportion de pyrite de fer jaune renfermant des traces de pyrite cuivreuse et surtout de pyrite magnétique bronzée qui ne donnent que des traces d'argent à l'essai, et sont associées de telle sorte que l'on puisse en retirer la presque totalité de la blende par un simple triage à la main. Il n'existe aucuns travaux sur ce gîte, dont on s'est contenté de gratter l'affleurement à coups de pioche sur quelques points. L'exploitation en serait facile et peu coûteuse et pourrait avoir lieu pendant au moins cinq mois de l'année. La descente du minerai donnerait seule lieu à des frais qu'il nous semble possible de réduire à des limites raisonnables par l'établissement d'une voie de traînage de la mine au chemin des chars ; le prix en serait peu élevé, la pente étant assez régulière et assez forte sur les deux tiers du chemin pour que l'on puisse y pousser les traîneaux sur le gazon court et glissant qui la recouvre.

Il est aussi fait mention dans les *Anciens minéralogistes*, tome I, p. 247, d'une mine de cuivre très-pauvre, près Campan, exploitée le siècle dernier par les sieur Thorin et Poli, et d'un filon de pyrite de fer de deux pans (0$^{m}$,40) mélangée d'un peu de

cuivre pyriteux au pic du midi de Bigorre. Je n'ai pas cru devoir visiter ces gîtes que les documents anciens ordinairement trop favorables, indiquent comme pauvres, et qui d'ailleurs sont très-mal placés sous le point de vue des transports.

### *Vallée de Bastan.*

A l'exception du gîte ci-dessus cité au pic du Midi, la vallée de Bastan ne renferme aucun gîte minéral qui mérite d'être cité.

### *Vallée de Héas.*

La vallée de Héas prend naissance au cirque de Troumouse, l'un des sites les plus pittoresques des Pyrénées, et vient déboucher dans vallée de Gavarnie au milieu du village de Gèdre, à 11 kilomètres de Luz. Elle est traversée dans toute sa longueur par le Gave de Héas qui, outre un grand nombre de petits ruisseaux presque tous à sec l'été, en reçoit deux plus considérables, l'Estaoubé, affluent de gauche, et le ruisseau de Cambiel, affluent de droite, avant de se jeter lui-même dans le Gave de Gavarnie. Bien que peu de vallées présentent un aspect aussi sauvage, aussi aride et surtout aussi désolé que celle qui nous occupe, on arrive facilement jusqu'à la chapelle de Héas, lieu de pèlerinage célèbre dans le pays, et situé à 8 kilomètres environ de Gèdre, par un sentier praticable pour les chevaux. Cette année, ce sentier a été classé parmi les voies de grande communication, et on travaille activement, avec l'aide du clergé local, à le transformer en voie charretable. Je dois dire aussi que depuis le voyage de Diétrich, il s'est établi, près de la chapelle de Héas, une petite auberge très-confortable pour la localité et où l'on peut coucher dans des draps blancs.

Cette vallée renferme un assez grand nombre de filons plombifères dont quelques-uns ont été l'objet de travaux d'exploitation plus ou moins suivis à une époque où l'absence de bois et de sentiers praticables rendait à peu près impossible le transport des minerais ou leur fonte sur place. Nous allons les passer successivement en revue en partant du lac de *Las Aires*, au centre du cirque de Troumouse.

**Mine de cuivre et de plomb de Touyère.** A 3 kilomètres environ en amont de la chapelle de Héas, on rencontre sur la rive gauche du gave de Troumouse ou Mattaca, nom que porte le gave de Héas au-dessus de la chapelle, et à quelques mètres seulement du ruisseau, un peu avant d'arriver

à un ravinement rempli de pierres roulantes, et à sec lors de ma visite, qui descend des cabanes de Cotte, deux galeries de quelques mètres situées au même niveau, dans une roche de granite, parallèles tout près l'une de l'autre et communiquant ensemble près de leur front de taille. Moins heureux que Diétrich, qui avait trouvé dans les décombres quelques mouches de galène et de pyrite cuivreuse, c'est à peine si j'ai pu trouver dans ces travaux des traces de pyrites de fer. Toutefois, d'après le même auteur, M. Thorin ayant fait faire deux petits travaux l'un au-dessus de l'autre, il est probable que je n'ai pu visiter que le travail inférieur, le supérieur ayant été depuis enseveli sous les décombres du ravin qui passe au-dessus. Du reste, il m'a été rapporté plus tard qu'un berger avait trouvé de la mine de plomb dans la même direction à une plus grande hauteur au-dessus du niveau de la vallée.

Mine de plomb du Lieuzaoubé.

Diétrich rapporte également qu'à peu de distance en aval on a trouvé un morceau de galène pesant 2 kilogrammes, et qui était tombé du Lieuzaoubé qui domine la rive droite du gave. Mes guides n'avaient pas connaissance de cette mine, que je n'ai pas cru devoir rechercher, sa position ainsi que celle de Touyère les rendant l'une et l'autre actuellement inexploitables.

Mine de plomb de Cazet.

Après avoir dépassé la chapelle de Héas, en continuant à suivre le cours du gave, on trouve, dans un espace très-restreint et dans le terrain de granite qui compose toute la vallée, un nombre assez grand de filons de galène. Le premier est situé sur la rive droite du gave, à 150 mètres environ de hauteur au-dessus de la maison de Cazet, entre les ruisseaux de La Guilla et de Troumouse. C'est un filon à gangue très-dure, essentiellement composé de quartz blanc, avec de rares mouches de galène, sur l'affleurement duquel on a fait un travail en tranchée insignifiant. D'après les apparences, il ne mérite pas d'être suivi en cet endroit.

Mine de plomb de Saint-Philippe.

En descendant de la mine de Cazet, et puis traversant le gave, on trouve vis-à-vis l'emplacement de l'ancienne maison de Porte, emportée en partie par les eaux au commencement de ce siècle et démolie depuis, et presqu'en face du ruisseau de Troumouse, à 500 mètres environ en amont de l'ancien lac de Héas, un filon de mine de plomb dont on peut suivre les affleurements sur la rive gauche du gave, depuis le ruisseau presque jusqu'au sommet du Pouiboucou, sur une étendue de plus de

500 mètres et sur lequel étaient situées les deux mines de Saint-Philippe et du Turon des Artigues.

La mine de Saint-Philippe consistait en un puits de 4 mètres de profondeur creusé au niveau de la rivière et en une galerie de 12 mètres placée au même niveau. Ces travaux sont actuellement entièrement comblés, et une partie de l'eau du gave passe par-dessus le puits. La difficulté d'épuiser les eaux paraît avoir été la cause principale de l'abandon de ces travaux; toutefois, la position des lieux permettrait, à peu de frais, d'isoler l'emplacement du puits et de reprendre ce dernier ainsi que la galerie. D'après Diétrich, le filon avait en ce point $0^{m},60$ de puissance, présentant une épaisseur réduite de 5 à 7 centimètres de galène massive qui rendait 60 p. 100 de plomb.

Mine de plomb du Turon-des-Artigues.

Du puits Saint-Philippe on aperçoit une partie des travaux de la mine du Turon des Artigues sur le flanc très-escarpé en cet endroit de la rive gauche du gave de Héas.

Le premier travail, entaille au jour d'un demi-mètre sur le filon, indiqué par Diétrich, est actuellement enterré sous la raillère qui s'élève jusqu'à une hauteur de plus de 100 mètres au-dessus du niveau du gave, et je n'ai pu le retrouver.

J'ai pu arriver au second travail indiqué, ainsi que les suivants, comme inaccessible par Diétrich. Il consiste en une galerie dirigée E.-O. de 45 à 50 mètres de longueur, et dans laquelle on aurait trouvé, d'après le même auteur, jusqu'à $0^{m},30$ de mine massive. Cette galerie est située à 150 mètres environ au-dessus du gave.

A 20 mètres plus haut, j'ai trouvé un ancien travail à deux ouvertures qui paraît avoir été fait au feu et présente des piliers de soutènement transversaux dans lesquels j'ai fait donner deux coups de mine qui m'ont découvert une veine de galène massive d'une puissance variant de $0^{m},10$ à $0^{m},15$. Cette mine était à grain très-fin, un peu terne et intimement mélangée de gangue qu'il serait difficile de séparer par le lavage. Essayée brute, elle a donné, aux 100 kilogrammes, 52 kilogrammes de plomb et 18 grammes d'argent, soit 35 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Au-dessus de ce travail, il existe encore sur le même filon trois autres attaques auxquelles on ne peut arriver qu'avec des échelles fixées extérieurement sur le roc au moyen de crampons.

Diétrich indique au S.-S.-E. du filon précédent, dans le ruisseau de la passade de l'Arbaret, plusieurs veines de mine de

fer spathique avec galène. Ce ruisseau n'est pas pas connu dans la localité, mais on traverse, en montant à la mine du Turon-des-Artigues, un ravin situé dans la direction indiquée et rempli de pierres roulantes parmi lesquelles on trouve beaucoup de mine de fer spathique.

**Mine de plomb de la Raillère.**

En descendant du Turon-des-Artigues, et suivant le gave jusqu'au Chaos formé par l'éboulement d'une partie de la montagne de La Lèche, on trouve, sur la rive droite, la mine de la Raillère qui présente les travaux les plus considérables de la vallée de Héas. Ces travaux portent sur un filon de plomb dont la direction moyenne paraît être E.-O. et qui pend au Nord.

Le premier travail est situé à 50 mètres au-dessus du rocher de Notre-Dame, et consiste en une galerie de 80 mètres environ. Au milieu de cette galerie, on trouve au sol un puits rempli d'eau qui a de 16 à 20 mètres de profondeur, et fournissait, suivant Diétrich, de la galène massive en abondance. Entre l'entrée de la galerie et le puits, le filon a été enlevé presqu'en entier jusqu'au jour que l'on aperçoit de la galerie au-dessus de sa tête en deux endroits. Au fond de la galerie, on trouve un abatage supérieur qui s'est éboulé, les paysans de la vallée étant venus enlever une partie des bois qui servaient à soutenir les remblais. On ne peut, par suite, arriver au front de la galerie qui, d'après Diétrich, y fournissait surtout de la mine à bocard. A l'entrée de la galerie, on trouve de la galène à gros grains et une veine de pyrites jaunes, légèrement cuivreuses, donnant à l'essai 0,00010 d'argent.

A 30 mètres plus haut, et au delà des soupiraux dont nous avons parlé, nous avons rencontré d'anciens travaux très-étendus à deux ouvertures n'offrant pas de remblais, et dont le toit et le mur sont reliés par des piliers de soutènement presque horizontaux. En faisant donner un coup de mine dans ces piliers, nous avons reconnu qu'en ce point l'exploitation portait sur une veine de galène massive de $0^{m}.35$ à $0^{m},40$ de puissance. Cette veine se compose, au toit, de mine à grains très-fins, un peu terne, intimement mélangée de gangue et tout à fait semblable à la mine du Turon-des-Artigues, et au mur, de mine à gros grains brillants comme celle des travaux inférieurs.

En outre, au-dessus de ces travaux, le filon a encore été fouillé sur son affleurement jusqu'à la crête de la montagne.

L'essai des deux variétés de minerai ci-dessus a donné aux 100 kilogrammes de mine brute :

Pour la mine à grains fins, 57 kilogrammes de plomb et 12 grammes d'argent, soit 22 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Pour la mine à gros grains, 72 kilogrammes de plomb et 60 grammes d'argent, soit 83 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Contrairement à l'idée généralement répandue que la teneur en argent est d'autant plus grande que la mine est à grains plus fins, nous voyons ici et nous verrons constamment dans la suite de cette notice que, dans la Bigorre, les mines à grains fins et presque indiscernables, qui sont intimement mélangées d'une certaine proportion de gangue, ce qui est peut-être la cause de la nature de leur grain, sont, sans exception, plus pauvres en argent que les mines grenues ou lamelleuses.

En résumé, le gîte de la Raillère paraît riche en mine de plomb, et son exploitation peut se faire avec facilité sur une grande hauteur au moyen de galeries ou traverses.

Mine de plomb de la Lèche.

Diétrich cite, en face de la mine de la Raillère, du côté opposé du lac de Héas et sur la rive gauche du gave, à la montrgne de Poulboucou et sur la rive droite du ruisseau du même nom, deux ouvertures de 2 à 3 mètres faites par les anciens et connues sous le nom de *mine de La Lèche.* Je n'ai pu retrouver ces travaux, qui ont été comblés depuis.

Mine de plomb des Gloriettes.

Non loin de là, sur la rive gauche du gave et la rive droite de l'Estauoubé, à 100 mètres au plus de hauteur au-dessus du gave, se trouvait la mine des Gloriettes dont les travaux sont actuellement comblés, et qui, d'après les traditions du pays, était la plus riche de la vallée. Nous n'avons pu retrouver d'affleurements sous le gazon et les pierres, mais dans celles-ci nous avons ramassé quelques échantillons de minerai de plomb couvert d'une croûte blanchâtre et consistant en alquifoux ou galène cubique à lames moyennes avec gangue de fer oxydé hydraté brun. Ce minerai brut a donné à l'essai aux 100 kilogrammes, 40 kilogrammes de plomb et 18 grammes d'argent, soit 45 grammes d'argent aux 100 kilogr. de plomb d'œuvre.

Il serait facile, avec quelques déblais, de retrouver les anciens travaux et de s'assurer de la valeur de la mine qui est bien située pour l'exploitation.

Mine de plomb du Griffou.

A 300 ou 400 mètres, après avoir passé le confluent de l'Estaoubé, et par conséquent sur la rive gauche de ce ruisseau, on aperçoit sur la pente qui forme la rive gauche du gave de

Héas les affleurements des filons du Griffou, que l'on peut suivre sur une hauteur considérable. Ces filons, qui me paraissent être celui cité par Diétrich sous le nom de *mine de la Hargue*, et qu'il n'avait pu découvrir, sont à gangue barytique et très-rapprochés. A la partie inférieure, nous y avons trouvé de la galène à gros grains disséminée dans de la gangue; à un niveau plus élevé, le filon nous a offert une galène cubique ou alquifoux à grandes lames, formant dans la gangue une veine massive de $0^m,04$ à $0^m,06$ de puissance; enfin, à la plus grande hauteur où nous soyons parvenu, nous avons trouvé une veine massive de galène à grains fins, brillants, de $0^m,02$ seulement de puissance. Un examen ultérieur nous a fait reconnaître que ces trois veines appartenaient à trois filons distincts, et qu'il y avait en outre dans le voisinage plusieurs autres affleurements, et notamment à la *Pène-de-Prat*.

L'essai de ces divers minerais triés à la main et non lavés, nous a donné aux 100 kilogrammes:

Galène à gros grains, 50 kil. de plomb et 25 grammes d'argent, soit 50 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb d'œuvre;

Galène à grandes lames, 60 kil. de plomb et 21 gr. d'argent, soit 35 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb d'œuvre;

Galène à grains fins, 53 kil. de plomb et 13 grammes d'argent, soit 25 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb d'œuvre.

L'existence de ces diverses veines métallifères parallèles et voisines, que l'on peut suivre sur une grande hauteur, devra porter à y faire quelques travaux de recherches.

**Mine de plomb de la Barbe-de-Bouc.**

Vis-à-vis le Griffou, et sur la rive droite du gave de Héas, on trouve, au Turon de Marty, les affleurements d'un filon de plomb sur lequel il a été fait quelques attaques superficielles connues sous le nom de la mine de Barbe-de-Bouc. D'après le dire de nos guides, ce gîte n'étant pas plus puissant que celui du Griffou, et étant pressé par le temps, nous ne l'avons pas visité. C'est probablement le même que celui de Cambelong que personne n'avait pu indiquer à Diétrich, ou bien celui que le même auteur cite au quartier de Cambeil, entre les granges d'André et de Bousquet.

**Mine de plomb du pont de la Gardette.**

A 2.500 ou 3.000 mètres avant d'arriver au point où le gave de Héas se jette dans celui de Gavarnie, on trouve sur le premier un petit pont connu sous le nom de pont de la Gardette, qui sert à communiquer avec le quartier de Benqué situé sur la rive gauche du gave. Tout près de ce pont, sur la rive

droite et au-dessous de la route, on voit un affleurement de $0^m,12$ à $0^m,15$ de puissance au plus qui ne renferme que de la mine de fer, se retrouve également sur l'autre rive, et qui est cité par Diétrich. A une cinquantaine de mètres en amont de ce premier filon et à 20 mètres de hauteur verticale au-dessus du gave, j'ai fait mettre à découvert un filon parallèle caché sous la terre et de beaucoup plus belle apparence dont j'ai retrouvé également la trace sur l'autre rive. Au point sur lequel j'ai fait donner quelques coups de mines, le filon avait une puissance de 1 mètre à $1^m,20$, dont près de moitié en galène à grains moyens avec gangue barytique peu abondante. L'essai de ce minerai brut a donné aux 100 kilogr., 67 kilogrammes de plomb et 18 grammes d'argent, soit 27 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Ce gîte, sur lequel il n'existe aucuns travaux, est certainement exploitable, et il vient de montrer que, dans cette partie des Pyrénées, les filons exploitables de mine de plomb sont souvent stériles sur une grande partie de leurs affleurements, ou s'y montrent seulement ferrugineux, et que ce dernier indice doit inviter à y faire quelques travaux de recherches combinés avec une étude particulière des affleurements.

En ce moment, les mineurs qu'y a mis M. de Querrieu à forfait rendent à Gèdre le minerai abattu et trié, bon à fondre à raison de 15 francs le quintal métrique.

**Mine de plomb de Porte.** Le guide Porte, de Gèdre, nous a montré, sans vouloir nous en faire connaître le gisement, un minerai de plomb venant de la vallée de Héas et, à ce que nous croyons, du quartier de Benqué. D'après le dire de Porte, et d'après l'échantillon que nous avons vu, le filon présenterait une puissance de $0^m,20$ de minerai massif à grains très-fins, un peu ternes, ressemblant beaucoup aux mines à grains fins à grains fins de la Raillère et du turon des Artigues. A l'essai, il nous a donné aux 100 kilogrammes, 34 kilogrammes de plomb et 12 grammes d'argent, soit 33 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

### *Vallée de Gavarnie.*

La vallée de Gavarnie n'est pas moins riche, en amont de Gèdre, en minerais métalliques, que la vallée de Héas. Il est toutefois à remarquer que les filons découverts jusqu'à ce jour sont tous situés sans exception sur la rive droite du gave de

Gavarnie et que l'on ne retrouve pas leurs affleurements sur la rive gauche, en général plus escarpée. Cependant, il nous paraît certain que quelques-uns de ces filons, notamment celui du Couret, doivent traverser le gave.

Le premier gîte métallifère que l'on rencontre en venant d'Espagne se trouve au-dessus de la cascade de Gavarnie, et porte le nom de trou des Maures. On y a autrefois exploité un filon de plomb en deux branches, qui présentaient ensemble une puissance réduite de 0m,08 de minerai environ. Les travaux sont actuellement en grande partie comblés, et, vu sa situation, ce gîte est trop pauvre pour être actuellement exploité avec profit. Mine de plomb du Trou-des-Maures.

Cette mine est située entre le ruisseau de Barade et Las Tortes, à 100 mètres environ au-dessus de la maison de Cazenave, qui est elle-même à 2 kilomètres en amont de Gavarnie. Les travaux consistent en une galerie dans le granite, inclinée de l'extérieur à l'intérieur, dans laquelle on ne peut pénétrer qu'à quelques mètres, à cause de l'eau dont elle est remplie. A la gauche de l'entrée de cette galerie, on trouve un filon de 0m,25 à 0m,30 de puissance, à gangue de quartz, baryte sulfatée et fer carbonaté, qui renferme beaucoup de galène cubique, alquifoux à lames moyennes, qui nous a donné à l'essai aux 100 kilogrammes de minerai trié à la main, 70 kilogrammes de plomb et 16 grammes d'argent, soit 23 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre. Mine de plomb de Cazenave-Bas.

A 300 mètres plus haut sur la même pente, et dans le bois de Cazenave, on trouve un autre travail également incliné de haut en bas dans la montagne, et noyé à peu de distance de son entrée. Au sud et un peu plus bas, on y trouve l'emplacement de la cabane des mineurs et l'ouverture actuellement murée et comblée d'une galerie inférieure, qui servait pour l'écoulement des eaux et l'extraction des déblais. On voit, tant à l'entrée de ce travail qu'au-dessus de l'ancienne galerie d'écoulement, plusieurs filons barytiques peu puissants, avec galène cubique, alquifoux à grandes lames, dans une roche granitique. Il serait intéressant et peu coûteux de s'assurer si ces veines métallifères ne se réunissent pas à un niveau inférieur, pour y constituer un massif exploitable. Le minerai trié nous a donné à l'essai aux 100 kilogrammes, 64 kilogrammes de plomb et 15 grammes d'argent, soit 24 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre. Mine de plomb de Cazenave-Haut.

Mine de plomb de Bréoule.

Dans la même direction, en descendant des mines de Cazenave, nous avons trouvé, à peu de distance sur la rive droite du ruisseau de Las Tortes, et à 50 mètres au-dessus de la maison de Bréoule, l'affleurement d'un filon quartzo-barytique, avec galène à grains moyens qui nous a donné à l'essai aux 100 kilogrammes, 64 kilogrammes de plomb et 14 grammes d'argent, soit 22 grammes d'argent aux 100 kilogr. de plomb d'œuvre.

Ces essais montrent que les divers filons de cette localité, entre Cazenave et Bréoule, renferment des minerais d'une composition identique, ce qui viendrait donner une nouvelle force à l'idée que l'on doit les considérer comme les ramifications superficielles d'un ou plusieurs gros filons intérieurs.

Mine de plomb de la Haignisse.

D'après Diétrich, on aurait trouvé plus de 15.000 kilogrammes de mine de plomb massive en blocs épars dans le bois de la Haignisse. Le gîte d'où provenaient ces blocs n'ayant été trouvé en place depuis cette époque par aucun des guides ou bergers du pays, je me suis abstenu d'une course qui aurait probablement été inutile, ne pouvant y consacrer tout le temps nécessaire.

Mine de cuivre de Ramonolou.

En continuant à descendre le gave, et après avoir passé Gavarnie, on voit au jour, sur la rive droite et au bord du gave, près de la première maison de Ramonolou, un filon de fer carbonaté avec pyrite cuivreuse pauvre de $0^m,20$ de puissance et dirigé E.-N.-E.—O.-S.-O. Il nous paraît trop pauvre pour qu'il vaille la peine d'être exploité. Dans tous les cas, et avant d'y rien entreprendre, il faudrait suivre son affleurement par des travaux superficiels.

Mine de plomb de la Providence.

La mine de la Providence, située au quartier de Soutoulet, sous le ruisseau d'Édetz, à 350 mètres environ au-dessus du gave et de la mine précédente, a été exploitée le siècle dernier par les Anglais, ainsi que celle du Couret dans la même vallée, et celle de Palouma dans la vallée de Gazost. Toutes ces exploitations furent abandonnées à l'époque de la guerre d'Amérique, par suite de l'expulsion des entrepreneurs et de leurs ouvriers, et elles n'ont pas été reprises d'une manière sérieuse depuis cette époque. D'après Diétrich, ce filon, exploité sur une profondeur d'environ 80 mètres et une hauteur de 24 mètres, aurait fourni du minerai de plomb massif et à gros grains en telle abondance qu'il aurait seul déterminé la construction d'une fonderie à Sérancolin, localité du reste mal choisie, à cause du prix élevé des transports du minerai. Actuellement,

l'aspect des travaux est tout autre; on peut aisément retrouver l'emplacement où venait déboucher la galerie inférieure actuellement comblée, qui servait pour l'écoulement des eaux et d'une partie des déblais. A 25 mètres plus haut, sur la gauche, se trouve une galerie dans le sol formé de déblais a une très-forte pente vers l'intérieur de la montagne. Le ruisseau tombe en partie à l'entrée de cette galerie, et se perd dans le sol de déblais sans y former de flaques d'eau. A une vingtaine de mètres de l'entrée de cette galerie, on trouve, sur la gauche, un abatage établi sur le filon en montant, et dans lequel on ne peut pénétrer qu'à quelques mètres, parce que les pâtres sont venus enlever une partie des bois qui soutenaient les déblais. Au sol de ces abatages, nous avons trouvé une veine de galène massive à grains fins et brillants de $0^m,03$ de puissance, qui nous a rendu à l'essai, aux 100 kilogrammes, 72 kilogrammes de plomb et 50 grammes d'argent, soit 70 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

La galerie se prolonge encore au delà de ce point, en plongeant très-fortement, pendant une quinzaine de mètres, et au fond, qui est très-humide, nous avons mis à nu, à coups de pic, dans le filon dont la puissance varie de $0^m,60$ à $0^m,80$, deux veines de galène massive à grains fins et brillants, l'une de $0^m,03$, l'autre de $0^m,06$ de puissance. Le minerai brut que nous en avons retiré, nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 63 kilogrammes de plomb et 40 grammes d'argent, soit 64 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Il est facile de déblayer à peu de frais les anciens travaux, et la position des lieux permet de rejoindre facilement à divers niveaux le filon par des traverses de peu de longueur. Aussi, n'hésitons-nous pas à conseiller la reprise de cette mine.

**Mine de plomb et cuivre des Artigaus.**

En continuant à descendre le long du gave, on trouve, entre les maisons Lafond et Adagas, toujours sur la rive droite du gave, un petit ruisseau qui forme une jolie cascade, et qui est connu sous le nom de ruisseau des Artigaus dans le pays, quoique ce nom ne se retrouve plus sur les plans du cadastre. Aussitôt que l'on a passé la prairie, en remontant sur la rive droite de ce ruisseau, on trouve les affleurements d'un filon très-régulier, que l'on peut suivre sur une distance de plus de 100 mètres, et qui a de $0^m,30$ à $0^m,60$ et plus de puissance. En certains points, il se sépare en plusieurs branches qui, en général, se réunissent de nouveau. Nous n'y avons vu qu'une

galerie qui, actuellement, est complétement remblayée. Les affleurements se composent de baryte sulfatée, de fer spathique altéré, de pyrites de fer et de cuivre et de galène. A l'essai, le minerai brut ne nous a donné aux 100 kilogrammes que 5 kilogrammes de plomb et un gramme d'argent, soit 20 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre. Toutefois, la régularité de ce filon nous fait présumer qu'à une faible profondeur il deviendra riche en mine de plomb, et il mérite d'autant plus d'être l'objet de travaux de recherches sérieux que la disposition des lieux offre à cet égard toutes les facilités désirables, et permettrait plus tard d'y établir à peu de frais un atelier de préparation mécanique.

Mine de plomb d'Adagas.

Sur la même pente, vis-à-vis la maison d'Adagas et à peu près à moitié route entre le ruisseau des Artigaus et la mine du Couret, existait une riche mine de plomb, actuellement bouchée, et dont l'ouverture est cachée sous les pierres qui couvrent le flanc de la montagne. L'année dernière, un berger trouva, non loin de l'endroit où l'on dit que se trouvait l'entrée de cette mine, deux énormes blocs de galène massive à gros grains très-brillants, qu'il cassa sur place en morceaux pour les emporter, et qu'il vendit comme échantillons aux baigneurs à Gavarnie, Saint-Sauveur, Baréges et Cauterets.

Nous nous sommes rendu sur les lieux où ces blocs avaient été trouvés, et les débris que nous y avons ramassés nous ont paru identiques aux échantillons qui nous avaient été remis, et les uns et les autres nous ont donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 85 kilogrammes de plomb et 28 grammes d'argent, soit 33 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

D'après les indications que nous avons pu recueillir sur cette mine, dont l'abandon ne remonte pas à un siècle, nous pensons que l'on pourrait découvrir l'entrée des anciens travaux avec des recherches et déblais dont le prix ne dépasserait pas un ou deux milliers de francs. C'est une dépense d'autant plus à conseiller que la galène qui en provient peut être regardée comme la plus pure de cette partie des Pyrénées, et que l'on pourrait en écouler une quantité notable dans le midi, à l'état d'alquifoux.

Mine de plomb du Couret.

La mine du Couret est située au-dessus de la maison de ce nom sur un filon considérale de baryte sulfatée très-pure, et non de spath calcaire comme l'indique à tort Diétrich, qui n'a

du reste visité que les travaux inférieurs. Ce filon, dont on peut suivre l'affleurement dans le granite jusqu'au milieu de la montagne, est dirigé à peu près N.-E.—S.-O. et sa puissance atteint généralement 4 mètres et ne descend nulle part au-dessous de 2 mètres. A l'affleurement, il renferme beaucoup de mine de fer spathique et micacée, en quelques points des veines de pyrites jaunes, quelquefois cuivreuses et d'assez gros rognons de galène à gros grains. Tous les travaux consistent en galeries. La roche s'abat avec la plus grande facilité. La galerie inférieure a 2 mètres de large et 24 mètres de longueur. On a laissé environ 1$^m$,40 de filon au mur et 0$^m$,60 au toit de cette galerie. La deuxième galerie est beaucoup plus élevée et a 9 mètres de longueur, le filon y a toujours à peu près la même puissance. La troisième galerie est à 25 mètres plus haut, et le filon n'y a plus que 2 mètres de puissance. La quatrième galerie, dont l'accès est assez difficile, est à 50 ou 60 mètres plus haut. Le filon y a repris sa puissance première. La cinquième galerie est à 10 mètres au plus au-dessus de la quatrième; la tradition rapportant que les Anglais, en abandonnant les travaux, avaient fait murer une ouverture communiquant avec des travaux beaucoup plus considérables s'enfonçant dans la montagne, nous avons fait déblayer cette galerie sans trouver cette communication. Enfin, nous avons également fait déblayer, à un niveau supérieur, un petit travail sur l'affleurement. Bien que le peu de travaux que nous avons fait faire sur ce filon ne soient point venus confirmer le dire que nous avons rapporté, ces travaux ne sont pas suffisants pour l'infirmer, et ce d'autant plus que dans les travaux visibles on a dû partout retirer de la mine à bocard, et qu'il nous paraîtrait extraordinaire qu'un filon aussi puissant et aussi régulier ne renfermât pas par places de belles colonnes de minerai.

Le minerai de plomb nous a paru exister en plus grande abondance au niveau des quatrième et cinquième galeries qu'à celui des galeries inférieures; c'est du reste à tous ces niveaux une galène à gros grains brillants qui, à l'état de schlich lavé, nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 60 kilogrammes de plomb et 20 grammes d'argent, soit 33 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre, exactement comme la mine voisine d'Adagas.

Dans la sixième galerie, au contraire, nous avons trouvé, sur une largeur de 0$^m$,50 à 0$^m$,60, du minerai de plomb en grains

plus fins, et associé avec la gangue, de manière à former de petites plaquettes que l'on détache facilement au pic, et qui nous ont donné brutes à l'essai, pour 100 kilogrammes, 25 kilogrammes de plomb et 7 grammes d'argent, soit 28 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

En ce moment, des mineurs à forfait livrent à M. de Querrieu le minerai du Couret extrait et trié à la main à raison de 15 fr. les 100 kil. rendus à Gèdre.

**Mine de plomb de Coumélie.**

En revenant du Couret à Gèdre, on rencontre à moitié route le ruisseau de Coumélie, qui coule dans le terrain de granite. En remontant le cours de ce ruisseau, on trouve dans son lit même un beau filon de galène à gros grains très-brillants, qui présente deux veines de minerai massif dont la puissance réunie est de $0^m,30$ et qui nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 70 kilogr. de plomb et 17 grammes d'argent, soit 25 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Ce gîte, qui n'est indiqué par aucun auteur et n'a donné lieu à aucuns travaux, est bien situé et sa richesse à l'affleurement fait espérer qu'il peut donner lieu à une exploitation fructueuse; et ce d'autant plus qu'à un niveau inférieur et dans la même direction on trouve les affleurements d'un beau filon quartzeux avec mine de fer micacée, indiqué par Diétrich sous le nom de mine de fer de Biroulet et de Gèdre-Dessus, et qui semble être en relation avec le filon ci-dessus.

**Mine de cobalt et nickel de Rieumau.**

De Gèdre à Luz on ne rencontre plus de gîtes métalliques, seulement dans la carrière de Rieumau, près de Saint-Sauveur, on a trouvé une veine de spath calcaire accompagnée de minerai de nickel et de cobalt, mais en quantité trop faible pour donner lieu à une exploitation.

### *Vallée de Pierrefitte.*

La vallée de Pierrefitte, qui s'étend de Luz à Pierrefitte, ne renferme qu'un petit nombre de mines peu importantes.

**Mine de cuivre de Saligos.**

La première que l'on rencontre en venant de Luz a été indiquée par Diétrich sous le nom de mine de l'Abat-de-Chèze. Il y a quelques années, elle a été annoncée comme une mine nouvellement découverte, sous le nom de mine de Saligos. Elle est située au quartier de Campernas, territoire indivis de Saligos et de Chèze, tout près d'une cabane située à 400 ou 500 mètres au-dessus de ce dernier village. On y a fait une petite attaque à ciel ouvert sur deux veines de calcaire blanc spathique

coloré en vert par places par de rares efflorescences cuivreuses.

A 8 kilomètres de Pierrefitte, sur la rive droite du gave de Baréges, en prenant l'ancienne route qui se trouve au-dessus de la nouvelle et n'est plus abordable qu'un peu au delà de la maison du cantonnier, on trouve, à peu de distance après avoir passé l'ancien pont de Meyabat, au niveau de la route et sur la droite, une galerie de 6 mètres dirigée N.-N.-E. — S.-S.-O. foncée le siècle dernier par M. Talabère, et qui, d'après M. Diétrich, aurait fourni de la galène à gros grains et de la blende disséminées dans du schiste noir argileux et calcaire fort dur. Cette galène aurait rendu aux 100 kilogrammes, d'après le dire rapporté par cet auteur, 50 kilogrammes de plomb et 500 grammes d'argent, ce qui nous paraît tout à fait inadmissible. Nous n'y avons vu aucun encaissement de filon et fort peu de minerai, ce qui, joint à l'extrême dureté de la roche, nous a fait renoncer à y faire jouer la mine. Mine de plomb de Chèze de Meyabat.

D'après Diétrich, M. Thorin aurait fait faire, il y a à peu près un siècle, en face et à l'ouest du travail ci-dessus, sur la rive gauche du gave de Baréges et sur le haut de la montagne de Viscos, une recherche sur un rocher de même nature dont il tira 150 à 200 kil. de belle galène. Cet auteur en cite encore un autre gîte sur la même montagne, en face de l'Abat-de-Chèze. Mine de plomb de Viscos.

Nous sommes allé deux fois sur la montagne de Viscos sans pouvoir découvrir ces gîtes et sans trouver personne qui pût nous les indiquer.

### *Vallée de Cauterets.*

Le premier gîte métallifère que l'on rencontre en descendant de Cauterets à Pierrefitte, a été découvert il y a peu d'années, par un lieutenant de la douane nommé Sarniguet qui, après y avoir dépensé environ 1.200 francs, dont au plus 300 en travaux de mines, a abandonné ses travaux, n'ayant pu trouver aucun bailleur de fonds pour les continuer. Mine de plomb de Sarniguet.

Cette mine est située sur la rive gauche du gave de Cauterets au quartier de Limasous, montagne de Catarabe, à 600 mètres environ au-dessus du gave, sur une pente très-escarpée. Les travaux consistent en une tranchée à ciel ouvert de quelques mètres sur un filon d'une puissance variable de $1^m,20$ à $1^m,30$, renfermant des noyaux de galène à gros grains disséminés dans une gangue rougeâtre ferrugineuse et peut-être aussi calaminaire. Le minerai cassé et trié à la main nous a donné à

l'essai, aux 100 kilogrammes, 60 kilogrammes de plomb et 82 grammes d'argent, soit 137 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Le filon ne peut être suivi que dans la profondeur, si l'on voulait en poursuivre l'examen, parce qu'il se trouve situé à peu de distance d'une petite crête, sur l'autre versant de laquelle nous avons trouvé, et dans la même direction, un affleurement ou plutôt un filon de blende brune et pyrite bronzée, dont le toit est à nu sur une étendue superficielle de 120 à 150 mètres carrés, et qui a une puissance d'environ $0^m,80$. Le minerai qu'il fournit nous a donné à l'essai 11 grammes d'argent aux 100 kilogrammes.

Il nous est impossible pour l'instant d'indiquer la relation qui peut exister entre ces deux gîtes; et il serait intéressant d'y faire quelques travaux, bien que nous doutions que cette exploitation puisse donner des bénéfices.

Mine de plomb de Barbazan.

Cette mine n'a été indiquée, ainsi que la précédente, par aucun auteur. Elle se trouve située au S.-E. de la grange de Barbazan, à un niveau plus élevé de 100 mètres, au lieu dit Coum de la Hount, près et sur la rive gauche du ruisseau de Basquette, affluent de droite du ruisseau de Lunce, l'une des branches du Rieutou qui vient lui-même se jeter dans le gave de Cauterets un peu en amont du village de Soussu. A l'endroit indiqué, nous avons trouvé un bel affleurement d'environ un mètre de puissance, à gangue schisteuse verdâtre et très-riche en galène à grains, fins, brillants, un peu ocreuse, occupant en certains points presque toute la largeur de l'affleurement. On peut suivre cet affleurement sur une grande longueur, et il présente partout du minerai. Le minerai brut nous a donné à l'essai, aux 100 kil., 50 kil. de plomb et 40 grammes d'argent, soit 80 grammes d'argent aux 100 kil. de plomb d'œuvre.

La disposition des lieux rendrait l'exploitation du minerai très-facile, et on le descendrait aisément sur la route nationale qui passe à 800 mètres au-dessous. Si la richesse à l'affleurement se soutient dans la profondeur, ce sera l'un des plus beaux gîtes métallifères de cette partie des Pyrénées.

Il existe d'autres affleurements de même nature sur les bords du Rieutou, près la grange Barbazan.

La mine de Barbazan est actuellement exploitée par M. de Querrieu, qui paye le minerai trié rendu à Pierrefitte à raison de 15 francs le quintal métrique.

En continuant à s'élever le long de la rive gauche du ruisseau de Lunce, on arrive, près du pic de Lunce, à une ouverture en partie comblée par des pierres, et qui est connue des bergers de la montagne sous le nom de trou de la Garaoulère ou trou des Corneilles, parce qu'il sert ordinairement d'habitation à quelques-uns de ces oiseaux. Après nous y être introduit en rampant, nous avons reconnu que ce trou était l'entrée d'une galerie de traverse de 12 à 15 mètres, débouchant au nord, qui conduisait dans une assez vaste exploitation ouverte sur un filon de 4 mètres environ de puissance et composée d'au moins deux galeries d'allongement aboutissant au jour, l'une à l'Est, l'autre à l'Ouest, d'un abatage entre les deux galeries et d'une excavation pleine d'eau, communiquant peut-être avec des travaux inférieurs. Il est probable que l'on a exploité de la galène dans cette mine; toutefois, partout où nous avons pu voir le filon et dans les déblais, nous n'avons trouvé que de la blende brune très-pure dont nous avons vu des blocs de plusieurs mètres cubes, détachés et gisants dans l'intérieur des travaux. Quoi qu'il en soit, ce gîte pourra être exploité au moins comme minerai de zinc, si l'on parvient à le traiter avec les lignites du pays, ou lorsque l'établissement de voies navigables ou de chemins de fer permettra de le transporter sur les bassins houillers de l'Aveyron pour y être traité. Mine de zinc de la Garaoulère.

Nous croyons que ce gîte est celui indiqué par Diétrich sous le nom de mine de plomb et de zinc du ruisseau de Naverne, montagne de Coutres, troisième travail, qui aurait donné à l'affleurement beaucoup de galène massive cubique à grandes lames, et dans laquelle il constate le remplacement de la galène par de la blende.

Diétrich cite encore, non loin de là, deux gros affleurements de blende avec un peu de galène, situés sur les bords du ruisseau de Naverne. Ces affleurements sur lesquels il a été donné quelques coups de mine et où nous n'avons trouvé que de la blende brune existent en effet, mais non sur le ruisseau de Naverne. Ils sont situés sur un affluent de gauche de ce ruisseau, dit ruisseau de Cudonat, quartier et montagne d'Estibe. Mine de zinc de Cudonat.

Nous ne pensons pas qu'il y ait lieu, quant à présent, à y faire aucuns travaux.

Le pic de Soulom est situé sur la rive droite du gave de Cauterets en face de la montagne de Coutres, à 4 kilomètres de Pierrefitte, par la grande route. On trouve à 200 mètres au- Mine de cuivre du pic de Soulom.

dessus du gave, sur le flanc du pic de Soulom, en aval et tout près des granges de la Clède, trois galeries superposées, dont la direction moyenne est N.-E. — S.-O. et dont la supérieure a 32 mètres de longueur, la deuxième 4 mètres et l'inférieure 10 mètres. Nous n'y avons trouvé que du schiste imprégné de carbonate et d'hydrosilicate de cuivre et de pyrite cuivreuse pauvre. D'après Diétrich, qui ne parle que de la galerie supérieure, cette galerie aurait fourni de très-belle mine de cuivre jaune et même du cuivre natif. Le même auteur cite encore dans la même direction, et à quelques centaines de mètres plus haut, une galerie éboulée de 20 mètres, qui aurait également fourni de très-beau minerai, et quatre attaques de quelques mètres. Ces travaux sont actuellement tous comblés : nous n'avons pu en trouver qu'un seul, sur la gauche d'une gorge qui descend jusqu'au gave ; nous en avons fait déblayer l'entrée, où nous avons retrouvé du schiste avec pyrites cuivreuses pauvres, disséminées. Enfin, encore beaucoup plus haut, et près des granges d'Ibernau, nous avons encore retrouvé des affleurements de la même nature.

La continuité de ce gîte sur une étendue en hauteur verticale de plus de 800 mètres doit engager à y faire des travaux de recherches sérieux, d'autant plus que ces travaux seront peu coûteux, et qu'il serait facile de descendre le minerai par des couloirs, jusque sur le bord du gave et de la grande route de Cauterets.

### *Vallée d'Argelès.*

Nous réunissons sous ce nom de vallée d'Argelès, la partie du Lavedan comprise entre le pont de Villelongue et le canton de Lourdes. L'ancien Lavedan était composé du territoire des vingt-cinq communes actuelles de Beaucens, Boo-Silhen, Bordes, Artalens, Ayros-Arbouix, Préchat, Saint-Pastous, Vier et Villelongue-Ourliac, formant la vallée de Davantaiguë ; de Cauterets, Arcizant-Avant, Soulom, Nestalas, Uz, Adast, Saint-Savin et Laou-Balagnas, formant la vallée de Saint-Savin ; d'Argelès, de Gez, de Serre, Ayzac-Ost, Ouzous, Salles et Agos-Vidalos formant la vallée de Salles.

Mine de plomb de Batz.

A la hauteur et à peu de distance du lacet que forme la nouvelle route de Cauterets, derrière Nestalas, à la colline de Batz, on trouve d'anciens travaux faits dans une face de rochers schisteux couverts d'efflorescence jaunes et blanches. Le tra-

vail le plus au sud est dirigé N.-E. — S.-O. et à 30 mètres de longueur. A son entrée se trouve un autre travail qui descend légèrement, a la même longueur et est dirigé N.-S. A 2 mètres au nord de cette excavation, il en existe une seconde de 10 mètres de longueur dirigée N.-E. — S.-O. Encore plus au nord, on trouve une autre excavation de 6 mètres. Enfin, à quelques mètres plus au nord, et complétement cachée par des broussailles et des bruyères qu'il fallut préalablement enlever, nous avons retrouvé l'entrée d'un ancien travail considérable, portant sur un filon peu incliné et presque entièrement exploité. Le toit est presque partout soutenu par des remblais en pierres sèches ou débris stériles de l'exploitation, au milieu desquels sont ménagées de nombreuses galeries disposées en pattes d'oie, et que nous avons toutes visitées jusqu'au point où nous nous sommes trouvés arrêtés par les eaux.

Enfin, au-dessous de ce travail, et dans la même colline, on trouve encore trois autres petites excavations.

D'après Diétrich, cette mine fournissait de la galène qui rendait, aux 100 kilogrammes, 48 kilogrammes de plomb d'œuvre tenant lui-même 375 grammes d'argent aux 100 kilogrammes. Nous n'avons trouvé dans les travaux que peu de minerai renfermant, avec de la galène à grains fins, une très-forte proportion de blende brune, et qui nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 25 kilogrammes de plomb et 20 grammes d'argent, soit 80 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

La présence de la blende est un grand inconvénient, et d'un autre côté la roche est assez dure; toutefois, à cause de la position favorable de cette mine et des travaux sérieux qui y ont été faits, il conviendrait d'y faire des recherches en profondeur.

Le minerai en était fondu dans une usine située à Soulom même, sur la rive droite du gave de Cauterets.

Mine de plomb de Beaucens.

Dans les rochers schisteux qui servent de base au château de Beaucens, sur la rive droite du gave d'Argelès, et à l'entrée de la vallée de Davantaiguë (vallée qui comprend les dix communes du canton d'Argelès, situées sur la rive droite du gave d'Argelès, formé par la réunion des gaves de Baréges et de Cauterets), on voit au moins deux petites veines métallifères parallèles d'environ 0$^{m}$,10 de puissance et qui se composent de blende, de pyrite et de mouches de galène. Ce gîte, sur

lequel il n'existe qu'une galerie de 8 mètres, ne nous paraît pas exploitable.

Mine de cuivre d'Aiguesalat.

Cette mine, située à la butte d'Aiguesalat, près de Beaucens, et que personne n'a pu nous indiquer, se compose, d'après Diétrich, d'un filon de calcaire spathique blanc avec pyrite cuivreuse, sur lequel on aurait fait une entaille de 2 mètres; il a 0$^{m}$,10 de puissance, court N.-N.-E. — S.-S.-O., pend à l'ouest, et est encaissé dans des roches schisteuses. M. Bigant a retrouvé depuis nous ce filon sur la route qui conduit aux mines d'Arribaou.

Mine de plomb d'Arribaou.

Ces mines sont situées au-dessus de Beaucens, dans la commune d'Artalens. Pour s'y rendre, en partant de Beaucens, on suit d'abord le chemin qui conduit à Bédouret, pré où se trouvent les ruines d'une ancienne chapelle et d'un couvent de sœurs hospitalières; on se dirige alors vers le pré de Gascouète, appartenant au sieur Trébouy, maire de la commune de Beaucens, puis on rencontre successivement, dans la même direction, et avant d'arriver à la fontaine d'Arribaou:

1° Un travail d'un mètre de profondeur;

2° Un deuxième travail de 10 mètres de longueur;

3° Un travail dont les parois sont recouvertes d'une croûte laiteuse, et qui a 4 mètres de hauteur sur 3 mètres de largeur et 40 mètres de profondeur;

4° Un petit travail de quelques mètres;

5° Un travail de 10 mètres de longueur;

6° Un travail très-étendu qu'il faut plus d'une demi-heure pour parcourir.

Ces diverses attaques paraissent avoir été exécutées sur les affleurements d'un même gîte principal. Il est très-étonnant qu'aucun auteur, même Diétrich, n'ait mentionné ces travaux, qui sont très-considérables, et semblent remonter à une époque très-reculée; à moins que ce ne soient les mines prétendues de cuivre indiquées près la fontaine de Vier, à 4 kilomètres de celle d'Arribaou, et que Diétrich ne put découvrir à l'endroit qui lui avait été indiqué, ou les mines que Malus indique près de Beaucens. Le minerai que l'on exploitait dans ces divers travaux était une galène cubique à grandes lames avec gangue blendo-schisteuse. Un échantillon brut de ce minerai nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 33 kilogrammes de plomb et 50 grammes d'argent, soit 150 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Le minerai des affleurements voisins de la fontaine se composait presque entièrement de blende brune donnant à l'essai 7 grammes d'argent aux 100 kilogrammes.

Ces mines sont bien situées, et il conviendrait d'y faire quelques travaux pour reconnaître si la galène s'y maintient dans la profondeur.

Diétrich indique, d'après les rapports qui lui ont été faits, une mine de plomb argentifère à la montagne de Casave, au-dessus de Villelongue, montagne qui n'est pas marquée sur les plans du cadastre et n'est pas connue dans le pays, et une autre au pic ou pène d'Aube, qu'il place par erreur dans la vallée d'Azun, où il n'est pas étonnant qu'il n'ait pu le trouver. Il paraîtrait également qu'il existe une ancienne mine à la montagne de Nawit, près du lac d'Izaby. Nous n'avons pas visité ces deux derniers gîtes, que personne ne connaissait et que leur position topographique rend seule à peu près inexploitables. On nous a assuré qu'il existe d'anciennes mines de plomb au sommet du Nerbiou, au-dessus d'Ourtiac, hameau de Villelongue. Gîtes divers au-dessus de Villelongue.

Le gîte de Laou se trouve situé à 40 ou 50 mètres au-dessus et sur la rive droite du gave d'Azun, près d'un petit moulin et de la prise d'eau qui alimente l'une des fontaines publiques d'Argelès, et à 2 kilomètres au-dessus du pont de Laou. La pente est très-roide et couverte de bruyères, et il est difficile de reconnaître le sentier qui conduit à la mine. Celle-ci consiste en deux veines de calcaire, d'ocre et de pyrite avec galène disséminée, sur lesquelles il avait été fait un travail de 4 mètres d'avancement dont la majeure partie des parois composées de roches schisteuses s'est fissurée depuis sous la charge des terres de recouvrement, et a roulé dans le gave. Ce gîte nous paraît avoir peu d'importance. Mine de plomb de Laou.

En arrivant au quartier de l'Escalère, territoire d'Arcizans-Avant, on trouve, tout près et à droite de la route qui conduit d'Arcizans-Avant à Siriex, un petit travail actuellement comblé sur un filon de $0^m,20$ à $0^m,60$, qui fournissait de la pyrite cuivreuse pauvre et qui, par sa position, mériterait peut-être quelques recherches. Mine de cuivre de l'Escalère.

On a trouvé dernièrement, dans un champ près Trebessé, commune de Gez, vallée de Salles, un bloc de galène massive, et il existe d'anciens travaux à l'extrémité supérieure de cette vallée, près du Montmula. Gîtes de plomb de la vallée de Salles

Nous n'avons pas visité ces deux derniers gîtes.

### *Vallée d'Azun.*

Mine de cuivre du pont d'Arras.

La première mine que l'on trouve dans la vallée d'Azun, est celle du pont d'Arras, qui se trouve à 500 mètres en aval de ce pont, dans un escarpement qui borde la rive droite du gave d'Azun. Il n'y existe aucuns travaux. D'après M. Bualé, pharmacien à Argelès, on en aurait retiré du minerai de cobalt. Nous n'y avons trouvé que quelques veines quartzeuses peu puissantes, avec pyrites arsénicales et pyrites jaunes un peu cuivreuses.

Mine de plomb de l'Escrampette.

Ce travail, situé à une cinquantaine de mètres au-dessus de la route d'Arras à Siriex, et sur la rive droite du gave d'Azun, est visible de la route dont il est séparé par une pente couverte de bruyères. C'est une grande excavation qui paraît avoir porté sur un rognon de minerai ; elle s'enfonce sur la gauche et y est comblée par des déblais et de l'eau, et en avant on ne trouve plus que du schiste argileux noir avec pyrites arsénicales disséminées. Ce rognon aurait fourni, d'après Diétrich, de la galène à gros grains, et on en retrouve encore quelque peu dans les parois. Ce gîte nous paraît peu important.

Un peu avant Siriex, la vallée d'Azun se divise en deux branches, la branche de Bun ou d'Estaing qui conduit au lac d'Estaing, et la branche d'Azun proprement dite ou d'Arrens qui conduit à Arrens.

Mine de plomb de Castillon.

En remontant le gave de Bun, on trouve, vis-à-vis des bordères de l'Abat-d'Aucun, et à 800 mètres au moins au-dessus de la rive droite de ce gave, au quartier de Castillon, commune d'Arras, une mine qui a été exploitée par MM. d'Inval et Talabère au dix-huitième siècle. Cette mine, qui n'a été attaquée que par des tranchées à ciel ouvert sur l'affleurement, de 2 à 3 mètres de largeur, paraît avoir fourni des quantités considérables de minerai. Les tranchées sont encore remplies de blocs composés de galène à gros grains avec gangue blendo-schisteuse. Je présume toutefois que les attaques que j'ai vues sont plus récentes que celles de M. Talabère, et que ces dernières ont été remblayées. L'essai du minerai brut nous a donné, aux 100 kilogrammes, 40 kilogrammes de plomb et 34 grammes d'argent, soit 85 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Il serait facile de faire descendre le minerai jusqu'à la route charretable qui conduit à Argelès ou à Pierrefitte, et, vu l'abondance du minerai, nous le regardons comme très-exploitable, malgré la forte proportion de blende qu'il renferme.

Non loin de ce gîte et à 200 mètres plus haut, sur la crête même de la montagne de l'Espujos, on trouve d'anciennes excavations considérables, partie à ciel ouvert et partie en galeries, et que nous n'avons pu visiter qu'en partie. Nous y avons trouvé des quantités considérables de blende brune et très-peu de galène. On pourrait très-facilement attaquer ce gîte à de grandes profondeurs par des traverses ou même des galeries d'allongement, et la descente des minerais n'offrirait aucunes difficultés. Mine de plomb et zinc de l'Espujos.

Diétrich cite, entre la crête de l'Espujos et le ruisseau de Toua, plusieurs affleurements de filons de blende avec galène, sur lesquels il existerait un petit travail ancien que nous n'avons pas retrouvé; mais nous avons reconnu que tout ce canton est rempli de petits filons de blende, qui sont probablement les épanouissements à la surface de quelques gros filons intérieurs. Mines de plomb et zinc de Toua.

Cette mine se trouve située au quartier de Ringadis, immédiatement au-dessous de la forêt que l'on traverse en descendant des mines précédentes, et à 400 mètres à peu près au-dessus du gave de Bun. Elle consiste en une masse de rochers qui fait saillie au-dessus du gazon, et dans laquelle existait une galerie actuellement comblée, de $1^m,50$ environ de largeur en pleine blende brune. Sur la gauche de l'entrée de cette galerie, nous avons trouvé une belle veine renfermant de la galène cubique, de la pyrite bronzée et quelque peu de pyrite cuivreuse. A quelques mètres plus haut, on voit l'entrée d'une seconde galerie dont le toit est en partie éboulé, et dans laquelle on ne peut pénétrer. Ce gîte est dans une bonne position pour l'exploitation et les transports, et il mérite quelques travaux de recherches qu'il faudrait entreprendre à un niveau inférieur, et qui seraient peu coûteux. Il acquerrait surtout de l'importance si l'on parvenait à tirer parti de la blende qu'il renferme en abondance. Mine de plomb et de zinc de Ringadis.

En descendant de Ringadis, et passant sur la rive gauche du gave de Bun, on trouve, à 50 mètres de la maison de Carieux, aux bordères, un petit travail dont le front de taille a été remblayé, et qui fournissait de la galène cubique, de la blende Mine de plomb et de zinc de Carieux.

brune et de la pyrite jaune un peu cuivreuse. Quelques mètres au-dessus de cette excavation, et dans la même direction. On voit les affleurements de deux veines parallèles, de 0m,50 de puissance chacune, de quartz, calcaire, pyrite, blende et galène qui paraissent être les branches d'un même filon, et sont encaissées dans un schiste argileux. Ce gîte paraît peu riche en minerai de plomb.

Mine de cuivre du pic de Pan.

Au pic de Pan, au-dessus des bordères et au quartier d'Arouille, on trouve, près d'une fontaine ferrugineuse, un filon peu important de pyrite jaune un peu cuivreuse. Ce gîte résume probablement à lui seul les deux gîtes de cuivre indiqués par l'abbé Palassou, l'un au pic de Pan, l'autre à Arrouge.

Mine de plomb, cuivre et zinc des Esplans.

Cette mine, indiquée par Diétrich sous le nom de mine des égouts d'Arrens, se trouve aux Esplans, sur la rive droite du gave d'Arrens, au-dessus de la chapelle de N.-D. de Pouylaount, et n'a donné lieu à aucuns travaux. Elle consiste en un ou plusieurs affleurements peu riches en minerais, qui se voient dans une face de rochers schisteux, encroutés par les eaux, elle nous a semblé n'avoir aucune importance.

Mine de plomb de Quatribé.

Plus haut, également sur la rive droite du gave d'Arrens, et à quelques pas en amont de la cabane de Quatribé, le sentier traverse un très-gros filon de spath calcaire blanc et quartz, sur lequel il n'existe pas de travaux, et qui renferme par places une grande quantité de galène lamelleuse. Le minerai trié à la main nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 45 kilogrammes de plomb et 45 grammes d'argent ; soit 100 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Par la préparation mécanique, on pourrait obtenir des schlichs à peu près purs. La localité est très-bien située sous le point de vue des transports et sous celui de l'établissement d'ateliers de préparation mécanique ; aussi ; nous conseillerions des travaux de recherche sur ce filon, dont il faudrait d'abord suivre les affleurements cachés sous le gazon, au moyen de petites tranchées, depuis le gave jusqu'aux masses de roches qui forment le pic du midi d'Arrens.

Mine de plomb de Cuîélot.

N'ayant pas pu me rendre à la mine de Cuîélot, située au quartier de ce nom, proche du Picord, commune de Marsous, près du sentier qui va d'Arrens à Arbéost, et qui m'avait été indiquée par M. Beaudoin, capitaine d'état-major, détaché à la carte de France, j'y envoyai mon mineur, qui me rapporta un certain nombre d'échantillons en majeure partie composés de

galène à grains moyens, de pyrite et d'un peu de blende, et qui nous donnèrent à l'essai, aux 100 kilogrammes, 45 kilogrammes de plomb et 70 grammes d'argent, soit 156 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Il y a une dixaine d'années, on y commença des travaux de recherches qui furent bientôt abandonnés, bien que l'on en ait retiré une assez grande quatité de mineral. Il conviendrait de reprendre ces travaux, qui sont insuffisants pour faire connaître la valeur de ce gîte.

**Mine de plomb du pic d'Arrieugrand.**

Nous n'avons pas visité cette mine, citée par Diétrich, mais il paraît qu'il existe en effet, au pic d'Arrieugrand, quelques veines de galène. On nous avait indiqué un filon de galène massive de $0^m,10$ près des cabanes d'Alby; nous nous y sommes rendu, mais nous n'avons rien trouvé. Ces deux gîtes sont d'ailleurs à peu près inexploitables sous le point de vue des transports.

**Mine de cuivre du pic de Gabiso.**

M. Saget, capitaine d'état-major, m'a montré des échantillons de minerai de cuivre qu'il avait recueillis sur la limite du département, à Gabiso, derrière le pic de la Lue, et près de la crête du lac de Louesque.

**Mine de plomb de l'Esponne.**

Diétrich cite, à la montagne de l'Esponne, quartier de l'Écouas, territoire de Hougaron, commune d'Arbéost, un gîte de galène cubique, avec plomb carbonaté, que nous n'avons pas visité.

**Mine de cuivre de Cassin de l'Astouas.**

**Mine de cuivre de Nouaux.**

Il en est de même d'une mine de cuivre indiquée comme pauvre à l'Astouas, montagne de Cassin, commune d'Arras, sur la rive gauche du gave d'Azun, ainsi que d'une pyrite cuivreuse pauvre citée au quartier de Nouaux, commune d'Arras, par l'abbé Palassou. On n'a pas pu nous indiquer ces gîtes dans les villages, et nous n'avons pu recourir aux bergers, qui étaient descendus de la montagne à l'époque où nous avons visité cette partie de la vallée d'Azun, et qui, en général, nous ont été plus utiles que les guides dans notre exploration.

### *Vallée de Gazost et du Coldoussan.*

**Mine de plomb de Palouma.**

La mine la plus importante de la vallée de Gazost est celle de Palouma, située à 120 mètres environ au-dessus de la rive droite de la Nèz, entre les deux ruisseaux de Hountayde et de Cadusses, à 500 mètres au plus de la scierie de M. Burgade. On y trouve un puissant filon de calcaire spathique avec quartz, galène et pyrite, dont la direction est à peu près N.-E.—S.-O.,

et régulièrement encaissé dans des roches schisteuses. Indépendamment des attaques à ciel ouvert, faites sur une grande partie des affleurements, il existe, dans l'intérieur de la montagne, des travaux considérables, en partie faits par les Anglais le siècle dernier. La galerie qui servait d'entrée à la mine, et de sortie pour les déblais est actuellement bouchée, et nous n'avons pu pénétrer dans les travaux qu'en nous faisant suspendre à une corde, et par une sorte de cheminée, dans le filon, demeurée ouverte, et d'une quinzaine de mètres de hauteur. Ces travaux consistent en 300 mètres environ de galeries d'allongement, soit sur le filon principal, soit sur des branches latérale, et en au moins deux puits remplis d'eau, ou plutôt deux abatages exécutés sur des colonnes métallifères, et qui occupent toute la largeur du filon. En 1852, on a retrouvé l'entrée de cette mine sur l'autre versant de la montagne. Le minerai de Palouma est surtout composé de galène lamelleuse avec gangue calcaire, qui nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 48 kilogrammes de plomb et 40 grammes d'argent, soit 84 grammes d'argent aux 100 kilogr. de plomb d'œuvre.

La mine de Palouma est dans une position qui en rend l'exploitation facile, le bois d'œuvre et de charbonnage est très-abondant aux environs; elle paraît avoir fourni de grandes quantités de minerai, et la reprise des travaux serait peu coûteuse, circonstances qui se réunissent toutes pour y attirer l'attention des exploitants de mines.

A quelques mètres au nord du filon de Palouma, on trouve un petit filon parallèle et de même nature de 0m,15 de puissance, présentant par points jusqu'à 0m,05 de galène, et qui forme probablement une branche du filon précédent; il a été reconnu par une entaille de 2 à 3 mètres de profondeur.

Plus loin, et à quelques centaines de mètres, au nord du filon de Palouma, on trouve de nombreuses veines de galène, paraissant appartenir à un corps de filon principal, aux rochers de Lavaseil, ce qui, dans le langage du pays, veut dire que ces rochers sont assez schisteux pour pouvoir être débités en ardoises.

Enfin, en face de la lic de Palouma, sur la rive gauche de la Nèz, et à 8 mètres au-dessus du niveau de ce ruisseau, on rencontre une galerie irrégulière ou excavation d'une dixaine de mètres de profondeur foncée sur une veine de calcaire spathique avec galène et blende fortement couchée. Nous n'avons

trouvé dans ce travail que des mouches de minérai, et il ne peut être exploité dans la profondeur qu'au moyen de machines d'épuisement. La Nèz fournirait d'ailleurs, au besoin, toute la force nécessaire pour faire mouvoir ces machines.

La mine de plomb de la Chourre est située au quartier de ce nom, entre les deux granges de Tréré, sur la rive gauche et à 200 mètres environ au-dessus de la Nez, à 1 kilomètre au-dessous de la scierie. Mine de plomb de la Chourre.

On y voit plusieurs filons parallèles et voisins de calcaire spathique et quartz avec galène et pyrite encaissés dans des roches schisteuses, et dont un seul a été suivi par une galerie de 15 mètres de longueur, dirigée N.-E. S.-O.

Ces filons paraissent bien réguliers, sont d'une exploitation facile et méritent des travaux d'exploration sérieux.

Le minerai, qui consiste en galène lamelleuse avec un peu de blende et de pyrite cuivreuse dans une gangue calcaire, nous a donné à l'essai aux 100 kilogrammes, sans lavage préalable, 33 kilogrammes de plomb et 42 grammes d'argent, soit 125 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Les Anglais ont exploité à Germs une mine de cuivre que la tradition indique comme riche. Nous ne l'avons pas visitée, n'ayant trouvé à Gazost personne qui pût nous y conduire. Mine de cuivre de Germs.

### *Vallée de Saint-Pé.*

La commune de Saint-Pé renferme un assez grand nombre de gîtes de minerais métalliques qui sont tous situés dans la montagne de l'Arau, quartier de Très-Crous, à l'exception de celui de Bataillé qui n'a aucune importance. Ces gîtes, qui ont été pour la plupart exploités au milieu du siècle dernier par les sieurs Devie et d'Inval, ont presque tous été abandonnés, parce que le minerai, encaissé dans des rochers de calcaire compacte, blond ou bleuâtre, s'y trouve ordinairement en chapelets ou rognons discontinus plutôt qu'en filons proprement dits. Les minerais étaient fondus dans une usine située près de Saint-Pé, sur la rive gauche du gave, et qui fut brûlée en 1739 et 1750. Après avoir servi de forge catalane, cette usine a été convertie par son propriétaire actuel, M. Cuyanbère, en une scierie.

A la carrière de Bataillé, sur le bord de la route nationale et à moitié chemin, entre Peyrouse et Saint-Pé, où l'on exploite du calcaire pour l'entretien de la chaussée, on trouve parfois, Mine de plomb de Bataillé.

dans l'intérieur des pierres, des noyaux de galène cubique à grandes lames tout à fait pure, qui nous ont donné à l'essai aux 100 kilogrammes, 74 kilogrammes de plomb et 13 grammes d'argent, soit 18 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre. Malheureusement, nos recherches, soit dans la carrière, soit aux environs, ne nous ont conduit à la découverte d'aucun filon.

Toutes les autres mines de la vallée de Saint-Pé sont situées à la montagne de l'Arau, sur la rive gauche du Génie-Braque, affluent de gauche du Génie-Longue, qui vient lui-même se jeter dans le gave de Pau, en face de Saint-Pé.

**Mine de plomb de la Moulère.**

Le premier gîte que l'on trouve en remontant la Génie-Braque est situé au quartier de La Moulère, au delà de Mourat et au-dessus de Cep. Les anciens travaux, qui remontent au moins au dernier siècle, sont entièrement éboulés et comblés comme lorsque Diétrich les visita. Il paraîtrait que le sieur d'Inval y avait exploité un rognon de mine de plomb qui fut bientôt épuisé. En 1850, le sieur Hour-Castagnet y fit faire quelques travaux de déblayement, qu'il cessa avant d'avoir seulement atteint l'entrée des galeries. Nous n'avons trouvé dans les déblais et les roches environnantes que du calcaire compacte pur ou imprégné de pyrites de fer. Il est impossible de se prononcer sur la valeur de ce gîte sans quelques travaux qui seront d'ailleurs peu coûteux.

**Mine de cuivre de Malès.**

Au-dessus de la Moulère, au quartier de La Malès, nous avons vu un filon de pyrite de fer à peu près pure et ne renfermant que des traces de cuivre sur lequel il n'existe aucuns travaux.

**Mine de plomb et de cuivre du Coum-de-Gatés.**

Cette mine que l'on trouve près du sentier qui conduit à la fontaine de l'Artigou de Hat-de-Haou, vis-à-vis le ruisseau de la fontaine de Calibour, a été indiquée par Diétrich sous le nom de mine de cuivre de Vadéan. On y trouve un filon de spath calcaire et de quartz renfermant au toit un peu de cuivre carbonaté, vert et bleu, et au mur, de la galène à gros grains en certaine quantité. Ce filon n'a guère que $0^m,20$ à $0^m,30$ de puissance. Il a été attaqué le siècle dernier par une petite tranchée sur l'affleurement, qui a été en partie déblayée l'année dernière par le sieur Cuyaubère, de Saint-Pé.

Un échantillon de minerai, que nous avons recueilli sur l'affleurement, nous a donné à l'essai, aux 100 kilogrammes, 38 kilogrammes de plomb et 22 grammes d'argent, soit : 65 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Ce gîte mériterait quelques recherches.

Non loin de ce gîte, à un niveau inférieur et dans la même direction, on trouve, au milieu des ronces, l'entrée d'une galerie de quinze mètres de longueur au fond de laquelle nous avons trouvé, sur la droite et près du sol, une certaine quantité de plomb carbonaté, terreux, en rognons disséminés dans une roche friable. A l'essai, ce minerai nous a donné, aux 100 kilogrammes, 63 kilogrammes de plomb et 50 grammes d'argent, soit : 80 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre. Mine de plomb du fond de Gatés.

Les recherches sur le gîte précédent devraient également comprendre ce dernier gîte.

En continuant à remonter le long de la rive gauche de la Génie-Braque, on trouve successivement : Mines diverses de l'Arau.

1° Au quartier de Branau, une mine d'argent ou plutôt de plomb, sur laquelle il existe d'anciens travaux que nous n'avons pu retrouver, au milieu des ronces qui recouvrent tout le flanc de la montagne et en rendent l'exploration pénible et surtout extrêmement difficile et délicate.

2° Au quartier de Brockbau, une mine d'or; pour nous, nous n'y avons rencontré qu'un filon de terre rouge qui ne nous a donné, à l'essai, ni or ni argent.

3° Au quartier d'Esquebotz, une galerie d'environ 30 mètres sur un filon qui n'existe plus à la tête du travail ; il a été perdu à 20 mètres du jour, à la rencontre d'un croiseur d'argile et recherché inutilement par une petite descenderie. Il faudrait quelques travaux pour apprécier la valeur de ce filon.

4° Au même quartier d'Esquebotz, on nous a dit qu'il existait un gîte, non exploité, présentant des rognons de minerais qui atteignent parfois jusqu'à 0m,50 de puissance. Nous n'avons pu nous procurer d'échantillons de ce minerai que l'on nous a indiqué, comme étant du minerai d'antimoine, mais que nous regarderions plutôt comme étant du plomb carbonaté, terreux, d'après les indications qui nous ont été données.

Enfin, sur le versant de l'Arau qui regarde le gave, au-dessus et à 200 mètres de distance environ de la grange de Bénac, on trouve un filon de 0m,30 à 0m,50 qui a été attaqué par un puits et deux tranchées à ciel ouvert. Le minerai brut, consistant en galène, disséminée assez régulièrement dans une gangue calcaire, nous a donné, à l'essai, aux 100 kilogrammes, 16 kilogrammes de plomb et 4 grammes d'argent, soit : 25 Mine de plomb de Bénac.

grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre.

Il n'y a pas d'eau aux environs, et le minerai brut devrait être descendu jusqu'aux bords du gave pour y être lavé.

RÉSUMÉ.

De ce qui précède, nous conclurons que le gîte de lignite d'Orignac et peut-être aussi celui d'Ossun, sont susceptibles d'être exploités, et que le développement de leur exploitation est intimement lié à celui de la fabrication de la chaux et de l'exploitation des gîtes métalliques de Bigorre. Ces derniers sont de trois sortes : les gîtes de plomb qui sont les plus nombreux, les gîtes de cuivre et les gîtes de zinc.

Les gîtes de plomb qui paraissent dès à présent susceptibles d'exploitation, sont ceux de Saint-Philippe, du Turon des Artigues, de La Raillère et du pont de la Gardette, dans la vallée de Héas, de la Providence et du Couret, dans la vallée de Gavarnie, de Barbazan, dans la vallée des Cauterets, et de Castillon, dans la vallée d'Estaing.

Ceux des Gloriettes et de Porte, vallée de Héas, de Cazenave, des Artigaus, d'Adagas et de Coumélie, vallée de Gavarnie, de Batz et d'Arribaou, vallée d'Argelès, de l'Espujos et de Ringadis, vallée d'Estaing, de Quatribé et de Cuiélot, vallée d'Arrens, de Palouma et de la Chourre, vallée de Gazost, de La Moulère et Gatés, près Saint-Pé, méritent des travaux d'exploration sérieux.

Des gîtes de cuivre, celui du pic de Soulom et peut-être celui de Germs, méritent seuls des travaux de recherches.

Enfin les gîtes de La Goussette, vallée de l'Esponne, de la Garaoulère et de Cudonat, vallée des Cauterets, de l'Espujos et de Ringadis, vallée d'Estaing, peuvent fournir à bas prix des quantités considérables de blende dont nous ne doutons pas qu'il ne soit tôt ou tard tiré parti pour la fabrication du zinc métallique ou de l'oxyde de zinc.

Enfin nous terminerons en faisant observer que les mines de lignite, les gîtes métallifères des environs de Saint-Pé et de la vallée d'Argelès, sont exploitables en toute saison ; ceux de l'entrée de la vallée de Cauterets et ceux de la vallée d'Azun sont exploitables pendant neuf à dix mois par an ; ceux des vallées de Héas et Gavarnie pendant sept à huit mois, et celui de la Goussette pendant cinq mois environ.

# EXTRAITS DE MINÉRALOGIE

Par M. DE SENARMONT.

(TRAVAUX DE 1852.)

***Expériences sur la production artificielle des minéraux cristallisés*; par MANROSS.**

(*Annal. der chem. und pharm.*, t. LXXXII, p. 348.)

*Sulfate de baryte*, obtenu en fondant 12 gr. de sulfate de potasse avec 52 gr. de chlorure de baryum anhydre. L'eau enlève les sels solubles, et laisse un sable cristallin dont les formes sont bien reconnaissables. Densité 4.179.

*Sulfate de strontiane*, même procédé. Cristaux simples et cristaux maclés régulièrement. Densité 3.927.

*Karsténite*, même procédé. Clivages ordinaires bien reconnaissables. Densité 2.969.

*Apatite*, obtenue en fondant du phosphate anhydre de soude avec un excès d'un mélange de chlorure et de fluorure de calcium. Prismes hexagonaux pyramidés avec un angle de 68°15 sur une arête terminale. Ces cristaux ne peuvent être séparés du fluorure de calcium en excès. Avec le chlorure de calcium seul, prismes hexagonaux en partie basés, en partie pyramidés ; les faces de ces pyramides faisant l'angle de 129°7' avec celles du prisme.

*Pyromorphite*, obtenue en fondant du phosphate de soude avec sept fois son poids de chlorure de plomb. Cristaux développés dans les cavités de la masse. Prismes hexagonaux pyramidés, les faces de la pyramide faisant l'angle de 130°23 avec celles du prisme. Densité 7.008.

*Wolfram*, en fondant du wolfram avec un excès de chlorure de calcium, on obtient sur les parois du creuset une couche noire de cristaux de wolfram grenus et aplatis.

*Schéélin calcaire*, obtenu en fondant du tungstate de soude et un excès de chlorure de calcium. Sable cristallin composé d'octaèdre à base carrée. Angle à la base 130° 20' 30". Densité 6.076.

*Plomb schéélaté*, obtenu en fondant du tungstate de soude avec 4 ou 5 fois son poids de chlorure de plomb.

Dans les cavités intérieures on trouve des cristaux octaédriques avec des angles de 99° 46′ sur les arêtes culminantes. Densité 8.232 à 8.238.

*Plomb molybdaté*, même procédé, les angles sont de 99° 43′. Ces cristaux sont basés. Densité 6.811.

*Plomb chromaté*, obtenu en fondant du chromate de potasse et du chlorure de plomb. Cristaux prismatiques rouge éclatant. Densité 6.118.

*Plomb sulfaté*, obtenu en fondant du sulfate de potasse et du chlorure de plomb. Forme ordinaire reconnaissable avec un fort grossissement.

### *Sur l'osmiure d'iridium et sur le platine*; par GENTH.

(*Journ. de Sillim.*, s. 2, t. XIV, p. 277.)

Osmiure d'iridium du Sacramento, lames hexagonales. Par la chaleur elles dégagent de l'osmium et deviennent jaunes, orangées et bleues, comme l'acier recuit. C'est la sifserskite $IrOs^4$.

Un schiste argileux du comté de Lancastre (États-Unis) contenant de la pyrite, de la pyrite de cuivre, de la galène, fondu avec du flux noir, a donné un culot contenant des traces de platine.

### *Analyse de la tétradymite de Davidson* (Caroline du Sud); par GENTH.

(*Journ. de Sillim.*, s. 2, t. XIII, p. 114.)

| Bismuth. | Tellure. | Soufre. | Selenium. | Total. |
|---|---|---|---|---|
| 60,31 | 33,19 | 6,17 | trace. | 100,56 |

### *Analyses*, par DIVERS, *de quelques arséniures de nickel et de cobalt :*

(1) RAMMELSBERG (*Pogg. Ann.*, t. LXXV, p. 161); (2) BULL.; (3) JACQUEL (Rose. *Krystallochemische mineral system*).

| | Ni. | Co. | Fe. | Cu. | As. | S. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) D'Allemont. . . | 18,71 | » | 6,82 | » | 71,11 | 2,29 | 98,93 | |
| (2) De Schneeberg. | 12,04 | 2,32 | 6,52 | 0,24 | 75,85 | » | 96,97 | 6,537 |
| | 11,57 | 3,38 | 6,35 | 0,88 | » | » | » | |
| | 12,25 | 4,56 | 6,82 | » | 76,09 | » | 99,72 | |
| (3) *Id.* . . . . | » | 21,21 | 11,60 | 1,90 | 66,51 | 0,49 | 101,26 | 6,84 |

*Analyses* par WEIDENBUSCH *du fer arsenical* (1) *de Reichenstein* (Silésie), (2) *de Schladming*, (3) *du mispickel de Reichenstein.*

(Rose. *Kristallochemische mineral system*, p. 53.)

| | Fe. | AS. | S. | Gangue. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 31,51 | 65,61 | 1,09 | 1,04 | 99,25 | 8,67 |
| (2) | 26,48 | 72,18 | 0,70 | » | 99,36 | 8,71 |
| (3) | 33,08 | 45,92 | 19,26 | 1,97 | 100,23 | 5,893 à 5,806 |
| | 34,29 | 45,29 | 18,38 | 1,21 | 99,17 | |
| | 33,50 | 46,60 | 19,20 | » | 100,00 | |

*Sur le mercure sélénié de Clausthal*; par ROEMER, *analysé* par KERL.

(*Journ. d'Erdmann*, t. LVII, p. 470.)

Minéral compacte, gris de plomb foncé, éclat métallique, cassure inégale et conchoïdale. Dureté 2.5, densité 7.1—7.37 à cause de la pyrite et du quartz mélangés. Dans le tube fermé fusible sublimé noir et plus haut rouge brique; sur le charbon, flamme bleue, odeur de sélénium; soluble dans l'eau régale.

| Hg. | Se. | Fe. | S. | Quartz. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|
| 65,52 | 21,2 | 2,14 | 0,35 | 10,28 | 99,57 |
| 72,26 | 24,05 | 0,45 | 0,12 | 2,86 | 99,74 |

abstraction faite des mélanges :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hg. | 75,11 | 74,82 | Hg. Se. |
| Se. | 24,39 | 24,90 | |

*Analyse d'une pyrite magnétique nickélifère de la mine de Gap* (Pensylvanie); par BOYE.

(*Journ. de Silliman*, 2e s., t. XIII, p. 219.)

| Fer. | Nickel. | Cuivre. | Plomb. | Soufre. | Arsenic. | Résidu. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41,34 | 4,55 | 1,30 | 0,27 | 24,84 | 1,70 | 25,46 | 99,46 |

*Analyses de la carrolite*; par FAHRE.

(*Journ. d'Erdmann*, t. LVIII, p. 333.)

Minéral massif, blanc d'étain ou gris d'acier, très-fragile, raclure grise, cassure presque conchoïdale. Dureté 55, densité 4,58.

| S. | As. | Co. | Ni. | Fe. | Cu. | Résidu. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27,300 | 1,815 | 28,502 | 1,500 | 5,311 | 32,988 | 2,145 | 99,260 |

*Analyses de jaspes opales*; par SCHNABEL.

(*Mémoires d'hist. nat. sur la Prusse rhénane*, 1852, p. 377 et 459.)

Jaspes opales de diverses couleurs, de Rosenau, des environs de Langenberg, de Cassel, de Stenzelberg.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Perte au feu. . . . . . | 4,83 | à | 7,02 |
| Silice. . . . . . . . . . . | 85,31 | | 97,26 |
| Alumine. . . . . . . . | 0,29 | | 10,27 |
| Sesquioxyde de fer. . | 2,28 | | 7,45 |
| Chaux. . . . . . . . . . | » | | 0,26 |
| Magnésie. . . . . . . . | » | | 0,63 |
| Alcalis. . . . . . . . . | » | | 0,27 |

### *Sur l'éliasite de la mine d'Élias, près Joachimsthal;* par Haidenger.

(*Annuaire de l'Institut géologique*, 2e année, n° 4.)

Minéral ressemblant au plomb gomme, excepté par la couleur et la composition, amorphe, en plaques, cassure un peu testacée ou inégale, éclat vitreux passant à l'éclat gras, rouge brun foncé, rouge hyacinthe sur les bords minces; raclure orangée. Dureté 3.5, densité 4,129.

| $U^2O^3$. | CaO. | $F^2O^3$. | FeO. | PbO. | $Al^2O^3$. | MgO. | $SiO^3$. | $CO^2$. | $PhO^5$. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 61,33 | 3,09 | 6,63 | 1,09 | 4,62 | 1,17 | 2,20 | 5,13 | 2,52 | 0,94 | 10,58 | 99,10 |

### *Analyses* (1) *de divers fers chromés d'Amérique;* par Starr; (2) *de Volterra* (Toscane); par Bechi.

(*Journ. de Sillim.*, s. 2, t. XIV, p. 45.

| | $Cr^2O^3$. | $Fe^2O^3$. | $Al^2O^3$. | FeO. | NiO. | $SiO^3$. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 63,38 | 38,66 | » | » | 2,28 | » | 104,32 |
| | 60,43 | 38,95 | 0,92 | » | 0,10 | 0,61 | 101,41 |
| | 41,55 | 62,02 | » | » | » | 1,25 | 104,82 |
| (2) | 42,13 | » | 19,83 | 33,98 | » | 4,75 | 100,64 |

Le protoxyde de fer a été évidemment dosé comme sesquioxyde dans plusieurs de ces analyses.

### *Analyses par Rammelsberg,* (1) *de la rhodonite de l'Amérique du Nord;* (2) *d'un grenat rouge transparent cristallisé de Haddam* Connecticut).

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXV, p. 297.)

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | FeO. | MnO. | ZnO. | CaO. | MgO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 46,70 | » | 8,35 | 31,20 | 5,10 | 6,30 | 2,81 | 0,28 | 100,74 |
| (2) | 36,16 | 19,76 | 11,10 | 32,10 | » | 0,58 | 0,22 | » | 100,000 |

### *Analyse d'une orthite des environs de Dresde;* par Zschau.

(*Journ. de Sillim.*, 2e s., t. XV. p. 441.)

| $SiO^3$. | CeO. LaO. | $Al^2O^3$. | FeO. $Fe^2O^3$. MnO. | CaO. | YO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33,41 | 20,73 | 10,90 | 20,88 | 10,52 | 0,69 | 3,2 | 100,26 |

***Analyses** (1) **du béril incolore de Schwarzenbach;** (2) **du béryl bacillaire verdâtre de Sägemühle, près Tirschenreuth.***

(*Journ. d'Erdmann*, t. LVIII, p. 180).

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | $Fe^2O^3$. | BeO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 67,4 | 20,0 | 0,3 | 12,0 | 99,7 |
| (2) | 66,7 | 20,0 | 1,0 | 13,0 | 100,7 |
| | 67,0 | 19,8 | 0,8 | 13,2 | 100,8 |

***Analyses du triphane et du pétalite;** par RAMMELSBERG.*

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXV, p. 544-552.)

Triphane (1) d'Utö; (2) de Terzing (Tyrol). Pétalite d'Utö.

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | FeO. | CaO. | MgO. | LiO. | NaO. | KO. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 65,02 | 29,14 | trace. | 0,50 | 0,15 | 5,47 | 0,46 | 0,14 | 100,88 | 3,1327 |
| (2) | 65,53 | 29,04 | 1,42 | 0,97 | 0,07 | 4,49 | 0,07 | 0,07 | 101,66 | 3,137 |
| | 77,79 | 18,58 | » | » | » | 3,30 | 1,19 | » | 100,86 | 2,447 à 2,455 |

***Analyses**, par DIVERS, **de plusieurs feldspaths vitreux du Siebengebirg.***

(*Mémoires d'hist. nat. de la Prusse rhénane*, 1852, p. 336.)

| $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | $F^2O^3$. | CaO. | MgO. | KO. | NaO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 68,18 | 18,33 | 0,71 | 0,51 | 0,46 | 7,15 | 4,66 | 100,0 |
| 66,33 | 19,02 | 0,52 | 0,76 | » | 6,02 | 7,32 | 99,97 |
| 65,62 | 17,16 | 1,67 | 2,44 | trace. | 12,67 | 0,44 | 100,0 |
| 67,42 | 15,88 | 2,83 | 2,77 | 0,15 | 10,52 | 0,43 | 100,0 |
| 68,25 | 19,35 | 1,43 | » | 0,64 | 4,67 | 5,66 | 100,0 |
| 65,84 | 17,61 | 0,74 | 0,18 | 0,06 | 14,39 | 1,18 | 100,0 |
| 67,25 | 18,92 | 1,25 | 0,35 | 0,03 | 7,60 | 4,60 | 100,0 |

Toutes ces analyses sont représentées par la formule



$$ROSiO^3 + Al^2O^3SiO^3.$$

***Analyse de la gymnite nickélifère;** par GENTH.*

(*Journ. de Sillim.*, t. XIV, p. 62.)

Minéral stalactiforme ou amorphe, qui accompagne la magnésie carbonatée et le fer chromé du Texas.

Cassure inégale et conchoïdale, translucide et opaque, éclat cireux, vert. Dureté 3 à 4, densité 2.409.

| $SiO^3$. | NiO. | FeO. | MgO. | CaO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 35,36 | 30,64 | 0,24 | 14,60 | 0,26 | 19,09 | 100,19 |

*Analyses* (1) *de la mésotype de Bishoptown* (Écosse); par SCOTT.

(*Edinburg Phil. Journ.*, t. LIII, p. 283.)

(2) *de la mésotype de Brewig* (Brewicite); par KÖRTE.

(G. Rose. *Krystallochemische*, etc., p. 94.)

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | NaO. | CaO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 47,626 | 27,17 | 15,124 | » | 9,780 | 99,7 |
| (2) | 48,82 | 26,24 | 15,97 | trace. | 9,47 | 100,0 |
| | 48,50 | 26,05 | 16.49 | trace. | 9,29 | 100,33 |

*Analyses* (1) *de la scholézite de l'île de Mull*; (2) *de la laumonite de Storr* (île de Skie); par SCOTT.

(*Edinburg Phil. Journ.*, t. LIII p. 282.)

(1) En aiguilles éclatantes bien cristallisées.

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | CaO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 46,214 | 27,00 | 13,45 | 13,78 | 100,444 |
| (2) | 53,048 | 22,943 | 9,676 | 14,639 | 100,306 |

*Sur les zéolithes du gabbro rouge de Toscane*; par MENEGHINI, *Analyses* par BECHI.

(*Journ. de Sillim.*, 2e s., t. XIV, p. 62.)

1° *Picranalcime* de Monte-Catini, cristallisée comme l'analcime, paraît être une analcime magnésienne.

2° *Picrothomsonite* de Monte-Carpociano, minéral rayonné, deux clivages rectangulaires.

3° *Heulandite* (*carpocianite*) de Monte-Carpociano, cristallisée dans la forme de l'heulandite.

4° *Portite*, minéral rayonné, deux clivages sous l'angle d'environ 120°. Blanc éclatant opaque.

5° *Sloanite*, minéral rayonné, blanc, éclat perlé opaque, deux clivages faciles sous l'angle de 105°

6° *Schneiderite*, masses feuilletées et radiées.

7° *Savite*, prismes carrés transparents basés ou terminés par un pointement.

| | $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | CaO. | MgO. | NaO. | KO. | HO. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (2) | 40,356 | 21,251 | 10,993 | 8,265 | 0,285 | | 10,790 | 99,94 | 2,278 |
| (3) | 52,015 | 22,838 | 9,675 | 1,114 | 0,250 | 1,112 | 13,108 | 101,167 | » |
| (4) | 58,125 | 27,500 | 1,759 | 4,873 | 0,157 | 0,100 | 7,917 | 100,431 | 2,4 |
| (5) | 42,187 | 35,00 | 3,119 | 2,670 | 0,250 | 0,03 | 12,50 | 100,756 | 2,441 |
| (6) | 47,794 | 19,382 | 16,765 | 11,029 | 1,621 | | 3,409 | 100,000 | » |
| (7) | 49,167 | 19,663 | » | 13,500 | 10,520 | 1,230 | 6,575 | 100,655 | 2,46 |

*Analyse de la pennine de la vallée de Nicolaï*; par MAC DONNEL.

(*Proceedings of the Irish Academy*, V, p. 307.)

| $SiO^3$. | $Al^2O^3$. | FeO. | MgO. | CaO. | KO. | NaO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23,77 | 14,48 | 40,36 | 3,10 | 0,74 | 1,37 | 0,08 | 13,75 | 99,60 |

*Analyses de la humite du Vésuve*; par RAMMELSBERG.

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXVI, p. 404 à 417.)

(1), (2), (3) Correspondant aux 3 types cristallins de Scacchi; (4) à la chondrodite des États-Unis.

| | $SiO^3$. | MgO. | FeO. | CaO. | $Al^2O^3$. | Fl. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 34,80 | 60,08 | 2,40 | » | » | 3,47 | 100,75 |
| (2) | 33,26 | 58,02 | 2,30 | 0,74 | 0,90 | 5,04 | 100,26 |
| | » | 57,82 | 2,29 | » | 1,23 | » | |
| (3) | 37,23 | 57,78 | 1,57 | » | » | 2,33 | 98,91 |
| | 36,11 | 56,69 | 1,49 | » | » | 2,90 | 97,19 |
| | » | 56,02 | 1,95 | | | | |
| (4) | 34,06 | 54,94 | 3,69 | » | » | 7,98 | 100,67 |
| | 32,98 | 56,90 | 2,22 | » | » | 7,43 | 99,53 |
| | 30,77 | 57,47 | 1,78 | | | | |

Humite n° 1. . . . $4MgFl, SiFl^3 + 27(4MgO, SiO^3)$
n° 2. . . . $4MgFl, SiFl^3 + 18(4MgO, SiO^3)$
n° 3. . . . $4MgFl, SiFl^3 + 36(4MgO, SiO^3)$
Chondrodite. . . . $4MgFl, SiFl^3 + 12(4MgO, SiO^3)$

*Analyse de la datholite du gabbro rouge de Toscane*; par BECHI.

(*Journ. de Sillim.*, 2e s., t. XIV, p. 65.)

| $SiO^3$. | $BO^3$. | $Al^2O^3$. | CaO. | MgO. | HO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37,50 | 22,033 | 0,852 | 35,341 | 2,121 | 1,562 | 99,409 |

*Analyse de la schorlamite*; par RAMMELSBERG.

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXV, p. 301.)

En rectifiant ses anciens résultats, Rammelsberg a trouvé comme Withney.

| $SiO^3$. | $TiO^2$. | $Fe^2O^3$. | FeO. | CaO. | MgO. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25,24 | 22,34 | 20,11 | 1,57 | 29,38 | 1,36 | 10,000 | 3,827 |

*Analyse de la columbite de Haddam* (Connecticut); par HUNT.

(*Journ. de Sillim.*, t. XIV, 340.)

| Acides métalliques. | $SnO^2$. | FeO. | MnO. | CaO. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|
| 80,60 | trace. | 15,57 | 3,25 | 0,50 | 99,92 |
| 63,60 | 0,7 | 22,10 | 5,20 | » | 101,60 |

*Analyse du molybdate de fer de Nevada City* (Californie); par OWEN.

(*Journ. de Sillim.*, t. XIV, p. 279.)

| Acide molybdique. | Oxyde de fer. | Magnésie. | Alcalis. | Eau. |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 35 | 2 | 8 | 15 |

Masses fibreuses jaunâtres.

### *Analyse de la triphylline de Bodenmais;* par Rammelsberg.

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXV, p. 439.)

| $PhO^5$. | FeO. | MnO. | LiO. | NaO. | KO. | HO. | $SiO^3$. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39,35 | 41,42 | 9,43 | 7,08 | 1,07 | 0,35 | 1,28 | » | 99,98 | 4,403 |
| 41,32 | 42,15 | 8,11 | » | » | » | » | 0,09 | » | |
| 40,22 | 37,30 | 10,98 | 7,48 | 1,83 | 0,82 | » | 0,40 | 99,03 | |
| 41,98 | 39,01 | 10,69 | » | » | » | » | » | » | |

### *Analyse de la childrenite;* par Rammelsberg.

(*Pogg. Ann.*, t. LXXXV, p. 435.)

En cristaux petits, transparents.

| $PhO^5$. | $Al^2O^3$. | FeO. | MnO. | CuO. | MgO. | HO. | Total. | Densité. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29,36 | 18,77 | 30 75 | 6,12 | 0,66 | » | 17,00 | 102,66 | 3,247 |
| 28,92 | 14,44 | 30,68 | 9,07 | » | 0,14 | 16,98 | 100,23 | |

### *Analyse de la calamine de Wiesloch;* par Wandesleben.

(*Jahrb. pr. Pharm.*, t. XXIV, p. 357.)

| $CO^2$. | $SiO^3$. | $Fe^2O^3$. | $Al^2O^3$. | ZnO. | CdO. | AS. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 33,73 | 4,73 | 1,55 | 3,33 | 56,55 | 0,035 | 0,0053 |
| 33,53 | 3,27 | 3,44 | 1.34 | 58,18 | 0,027 | 0,0046 |

### *Sur la strontianocalcite de Girgenti* (Sicile); par Genth.

(*Journ. de Sillim.*, 2e s., t, XIV. p. 280.)

Carbonate rhomboédrique de chaux et de strontiane; rhomboèdres aigus de 65°50 $\left(e^{2/3}\right.$ ou $\left.e^{3/7}?\right)$ avec clivage du spath calcaire, paraît contenir les deux carbonates en quantités à peu près équivalentes.

### *Sur le cuivre oxydulé capillaire;* par G. Rose.

(*Krystallochemische mineral system*, p. 62).

M. Rose établit, contrairement à l'opinion de Kenngott et de Suckow, que les cristaux capillaires ne sont autre chose que des cubes allongés, portant même quelquefois de petites facettes du dodécaèdre rhomboïdal et de l'octaèdre.

### *Sur la cérine;* par G. Rose.

(*Krystallochemische mineral system.*, p. 85.)

La *fig.* 6, Pl. II, représente un cristal du Laacher-Sée en projection sur le plan diamétral principal du prisme oblique.

La *fig.* 7 représente la même projection pour un cristal hémitrope autour de T. L'une des extrémités montre une symétrie apparente qui conviendrait au prisme rhomboïdal droit.

La forme de ces cristaux est semblable à celle de l'épidote.

*Sur la lépidokrokite ou gœthite*; par G. Rose.

(Même ouvrage, p. 70.)

La *fig.* 4 représente un cristal mince du fer hydroxydé de Clifton M/M = 130° 40″, *e*/*e* 117 30 (Phillips).

La *fig.* 5 représente un cristal de Gœthite du pays de Siegen *e*/*e* = 117° 45′, *e*/*a* 42 à 43°, la face *a* est arrondie.

*Sur la forme des micas*; par H. de Sénarmont.

(*Ann. de chim. et de phys.*, 3e s., t. XXXIV, p. 171.)

Les micas ne peuvent cristalliser en prisme oblique, car on trouve fréquemment des cristaux maclés (*fig.* 15) sur les faces latérales M des prismes d'environ 60° et 120°. Or non-seulement les clivages parallèles à la base ne font pas les angles rentrants qui résulteraient de l'obliquité, mais leur continuité est telle qu'on ne distingue les cristaux qu'à la lumière polarisée.

On observe même des macles plus complexes. Les individus ne sont pas groupés semblablement aux deux extrémités d'un même cristal (*fig.* 16 et 17), de façon qu'au milieu de sa longueur il est formé de feuillets superposés dans une orientation différente (*fig.* 18). La plage ainsi composée (pointillée sur la figure) se reconnaît parce que la lumière polarisée parallèle ne cesse jamais de développer des couleurs quand la lame tourne dans son plan; et que la lumière polarisée divergente montre deux systèmes d'anneaux croisés sous l'angle de 60°.

Sur 57 espèces de micas examinés, on a rencontré à peu près en nombre égal ceux où les axes optiques gisent dans le plan de la petite, et ceux où ils gisent dans le plan de la grande diagonale de la base rhombe. Leur inclinaison réciproque, variant d'ailleurs dans chaque série de 1° à 2° jusqu'à 77°, sans que pour cela la cristallisation soit notablement différente, puisqu'on observe dans la même lame des plages où l'écartement des axes n'a pas la même valeur: (*Fig.* 19, inclinaison de 60° dans la région périphérique et dans l'enclave polygonale, de 70° dans la région centrale; *Fig.* 20, inclinaison de 67° dans la région centrale; de 58° à 59° dans la région périphérique.)

Or on peut, avec des sels isomorphes (tartrate de soude et de potasse, tartrate de soude et d'ammoniaque), qui dans la même enveloppe géométrique ont leurs deux axes optiques ouverts suivant deux plans diagonaux rectangulaires, former

synthétiquement des alliages cristallisés et jouissant de toutes les propriétés optiques des micas (*).

Ils montreront par exemple, suivant les proportions des mélanges, leurs deux axes optiques ouverts tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre des plans diagonaux, avec un écartement variable, et cet écartement pourra s'annuler dans certains cas, de manière qu'ils simuleront alors de véritables cristaux à un seul axe optique.

Il est très-probable que la même cause produit, dans les micas et dans les composés artificiels, les mêmes particularités optiques; mais alors l'existence des micas à un seul axe optique ne serait qu'apparente; et en effet il en est bien peu qui, sous le microscope polarisant d'Amici, ne manifestent les phénomènes propres à deux axes optiques très-rapprochés, plutôt qu'à deux axes optiques rigoureusement confondus.

Il faudrait alors rayer des nomenclatures minéralogiques, les micas en rhomboèdre aussi bien que les micas en prisme oblique. Cette assertion ne comporte malheureusement pas de preuve cristallographique certaine, à cause de la forme très-imparfaite de ces minéraux. On peut au moins s'assurer qu'un prisme rhomboïdal droit, d'environ 60° et 120°, satisfait comme forme primitive à toutes les mesures un peu précises.

| | Angles calculés. | Phillips (**). | G. Rose (***). | Marignac (****). | |
|---|---|---|---|---|---|
| M/M...... | *120° | » | » | » | |
| P/M...... | *90° | » | » | » | |
| P/[illegible]...... | [illegible] 51′ | [illegible] 16′ | » | » | |
| P/b[illegible]...... | 121° 22′ | 121° 45′ | » | » | |
| P/$b^3$...... | 106° 57′ | 107° 5′ | » | » | |
| P/[illegible]...... | 102° 53′ | » | » | 102° 29′ | Vésuve. |
| P/[illegible]...... | *[illegible] 40′ | [illegible] 40′ | [illegible] 40′ | [illegible] 50′<br>98° 22′ | [illegible]<br>Vésuve. |
| P/[illegible]...... | 95° 57′ | 96° [illegible] | » | » | |
| P/[illegible]...... | [illegible] 42′ | » | » | [illegible] 37′ | Vésuve. |
| P/$b^{1/2}$...... | 94° 21′ | » | » | 94° 50′ | Binnen. |
| P/$e^{3/2}$...... | 114° 34′ | 114° 30′ | » | » | |
| P/$e^{3/4}$...... | 102° 53′ | » | » | 102° 28′ | Vésuve. |
| P/[illegible]...... | 98° 40′ | » | » | 98° 40′ | |
| P/[illegible]...... | 98° 48′ | » | » | 96° 37′ | |

(*) Ann. de chim. et de phys., 3e s. t. XXXII, p. [illegible].
(**) Mineralogy, 3e éd., p. 106.
(***) Pogg. annal., t. LXI, p. 383.
(****) Arch. des sciences phys. et nat., 1847, t. VI, no 21.

| *Angles calculés.* | | *Phillips.* | *G. Rose.* | *Marignac.* | |
|---|---|---|---|---|---|
| P/$b^{1/2}$ . . . . | 94° 21′ | 94° 06′ | » | » | |
| P/$e^{1/3}$ . . . . . | 92° 55′ | 92° 55′ | » | » | |
| P/[illegible] . . . . . . . | 92° 21′ | » | » | 92° [illegible] / 91° 56′ | Binnen. |
| P/[illegible] . . . . . . | 99° 30′ | 100° 10′ | » | 99° 30′ / 99° 45′ | Vésuve. |
| $b^1$/$b^1$ . . . . . . | 120° 46′ | 120° | 120° 46′ | 120° 50′ | Binnen. |
| [illegible] . . . | 120° 12′ | » | » | 120° 40′ | |
| [illegible] . . . . . . . | 92° 50′ | » | » | 92° 10′ | Vésuve. |

[illegible] = ([illegible]) [illegible] = ([illegible]).

Le mica de Binnen avait été regardé par M. Marignac comme oblique à deux axes optiques; celui du Vésuve comme rhomboédrique à un seul axe optique. Les angles inscrits sous les noms de Phillips et de Marignac sont ou ceux qu'ils ont mesurés ou ceux qui s'en déduisent trigonométriquement.

### *Sur la glaubérite de Tiza* (Pérou); par H. de Sénarmont.

(*Ann. de chim. et de phys.*, 3e s., t. XXXVI, p. 157.)

Cristaux nets, limpides, engagés dans la boronatrocalcite.

| *Angles mesurés.* | *Cristal* fig. 10. | *Cristal* fig. 11. | *Cristal* fig. 12 *et* 13. | *Angles calculés.* |
|---|---|---|---|---|
| M/M | 82° 58′ | 83° 15′ | *83° | *83° |
| M/h | » | 138° 24′ | » | 138° 30′ |
| M/P | 104° 52′ | » | *105° 17′ | *105° 17′ |
| M/$b^1$ | 147° 28′ | 147° 18′ | *147° 40′ | *147° 40′ |
| M/$b^{1/3}$ | 173° | » | » | 172° 57′ |
| M/[illegible] | 164° 39′ | 164° 37′ | 164° 30′ | 164° 37′ |
| M/$e^2$ | 111° 30′ | » | » | 110° 42′ |
| M/$d^3$ | 98° 57′ | » | 99° 30′ | 99° 6′ |
| $b^1$/$b^1$ | 116° 18′ | 116° 21′ | 116° 50′ | 116° 52′ |
| [illegible]/i | » | 136° 0′ | » | 135° 30′ |
| i/M | » | 147° 40′ | » | 147° 46′ |
| i = ($d^1 h^1 d^{1/3}$) | | | | |

### *Sur l'isomorphisme de l'argent antimonial de la stromeyérite et du cuivre sulfuré;* par Kenngott.

(*Acad. de Vienne*, etc., t. IX, p. 369.)

M. Kenngott remarque que la forme de l'argent antimonial peut s'identifier à celles de la stromeyérite et du cuivre sulfuré, et place en regard leurs angles correspondants; il aurait

pu y joindre ceux du péridot, et par conséquent de la cymophane et de la humite, ceux de la tantalite, de la topaze, etc., de beaucoup d'autres substances, en un mot, réductibles à des prismes d'environ 60 et 120°. Depuis longtemps, en effet, on a remarqué que ces formes-limites ont presque toujours entre elles des relations simples et des analogies manifestes jusque dans leurs groupements.

On met ici en parallèle quelques-unes de ces substances. Ces rapprochements curieux n'ont d'ailleurs, jusqu'à présent, d'intérêt que comme fait, sans qu'on entrevoie ni causes ni conséquences auxquelles on puisse les rattacher d'une manière rationnelle.

L'inclinaison des faces est donnée par l'angle compris entre leurs normales; ces angles et les notations des faces sont empruntés au traité de minéralogie de MM. Brooke et Miller; mais on a ramené au parallélisme les axes cristallographiques homologues, et à l'égalité les paramètres correspondants en les multipliant par des facteurs entiers. Ces facteurs, assez simples, introduisent cependant quelque complication dans les symboles.

La coïncidence des angles ne se manifeste pas au même degré dans les différentes zones : elle est frappante dans certaines zones principales, où l'on retrouve d'ailleurs d'autant plus généralement des faces de même symbole que les angles approchent plus de l'égalité; certaines substances présentent même ainsi une zone entière complétement identique, quand toutes les autres sont essentiellement dissemblables.

On a omis à dessein, dans ce tableau, un petit nombre de modifications intermédiaires, à symbole complexe, qui ne sont pas communes à plusieurs substances. (001), (100), (010) représentent respectivement les pôles de la base et des faces verticales tangentes aux arêtes de 60 et 120°.

| | AgSb. | CuS. | $Sb^2S^3$ | Bournonite. | Péridot. | Cymophane. | Tantalite. | Topaze. | Calamine électrique. | $\dot{P}b\ddot{C}$. | $Ca\ddot{C}$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (010) sur (111) | 30,00 | 30,12 | 27,4 | 28,4 | 30,24 | 30,7 | 29,40 | 30,55 | » | 31,23 | 31,55 |
| (431) | » | » | » | » | » | » | » | » | 33,3 | » | » |
| (320) | » | 41,8 | » | 38,39 | » | » | » | » | » | » | » |
| (210) | 49,6 | » | 45,36 | 46,50 | 48,33 | » | 48,43 | » | » | » | » |
| (310) | 60,00 | 60,13 | » | 57,59 | » | » | » | 60,55 | » | » | 61,21 |
| (410) | » | » | » | 64,52 | 66,65 | » | » | » | 66,56 | » | » |
| (510) | 70,54 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (20,3,0) | » | » | » | » | » | » | » | » | 74,20 | » | » |
| (001) sur (102) | » | » | » | 13,37 | » | » | » | » | 13,34 | » | » |
| (101) | » | 25,52 | 26,16 | 25,33 | 24,59 | 25,11 | » | 25,20 | 25,47 | » | » |
| (403) | 33,53 | 32,53 | » | 32,31 | » | » | » | 32,16 | » | » | » |
| (201) | » | 44,8 | 44,37 | 43,43 | 42,56 | 43,13 | » | 43,26 | 44,00 | » | » |
| (803) | 53,20 | » | 52,46 | » | » | » | » | 51,37 | » | » | » |
| (301) | » | » | » | » | 54,25 | 54,38 | 54,48 | » | 55,23 | 55,20 | 55,30 |
| (10,0,3) | » | 58,16 | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (401) | » | 62,44 | » | 62,24 | 61,47 | » | » | 62,10 | » | » | » |
| (501) | » | » | » | » | » | » | » | » | 67,30 | » | » |
| (701) | » | » | » | » | » | » | » | » | 73,31 | » | » |
| (10,0,1) | » | » | 78,33 | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (12,0,1) | » | » | » | » | » | » | 80,00 | » | » | » | » |
| (001) sur (012) | » | » | » | » | » | » | 22,31 | » | » | 21,33 | » |
| (034) | » | » | » | » | » | » | » | » | 31,40 | » | » |
| (011) | » | 39,40 | » | 41,54 | 38,27 | 39,1 | » | » | » | » | » |
| (043) | 49,19 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | 49,1 |
| (032) | » | » | » | » | » | 50,33 | » | » | 50,58 | » | » |
| (094) | » | » | » | » | » | » | 68,6 | » | 61,37 | » | » |
| (013) | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (001) sur (112) | » | 25,44 | » | » | » | 25,6 | » | » | » | 24,50 | » |
| (223) | 33,53 | 32,44 | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (111) | » | 43,57 | » | » | 43,38 | 43,8 | » | 42,39 | » | » | » |
| (443) | 53,20 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (221) | » | 62,36 | » | » | » | 61,55 | » | 61,30 | » | » | » |
| (331) | » | » | » | » | » | » | » | » | 70,42 | » | » |
| (441) | » | » | » | » | » | » | » | 74,79 | » | » | » |
| (661) | » | » | » | » | » | » | 80,6 | » | 79,44 | » | » |
| (001) sur (211) | » | » | » | 52,40 | 50,46 | 51,8 | 51,29 | » | 54,5 | » | » |
| (212) | » | » | » | 33,15 | » | » | » | » | » | » | » |
| (010) (211) | » | » | » | 57,3 | 59,51 | 59,26 | 58,56 | » | 55,29 | » | » |
| (212) | » | » | » | 67,53 | » | » | » | » | » | » | » |
| (001) sur (411) | » | » | 65,29 | 64,40 | » | » | » | » | » | » | » |
| (412) | » | » | » | 46,34 | » | » | » | » | » | » | » |
| (010) (411) | » | » | 66,24 | 67,26 | » | » | » | » | » | » | » |
| (412) | » | » | » | 72,00 | » | » | » | » | » | » | » |
| (001) sur (231) | » | » | 71,55 | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (232) | » | » | » | » | » | » | » | » | 52,57 | » | » |
| (234) | » | » | » | 35,31 | » | » | » | » | » | » | » |
| (010) (231) | » | » | 25,53 | » | » | » | » | » | » | » | » |
| (232) | » | » | » | » | » | » | » | » | 42,00 | » | » |
| (234) | » | » | » | 56,49 | » | » | » | » | » | » | » |

## INTRODUCTION

### A L'ÉTUDE DES PRÉPARATIONS MÉCANIQUES.

Par M. V. PERNOLET.

(Suite) (*).

*Recherches sur la chute des minéraux dans l'air, soit en repos, soit en mouvement.*

Les observations relatives à la chute des minéraux dans l'air en repos comportent moins de précision que dans l'eau. Néanmoins les expériences que je vais rapporter suffiront, à l'aide des précédentes, pour fournir les principales données dont on a besoin dans l'étude qui nous occupe.

J'ai opéré sur des minéraux dont les densités ont varié de 1 à 6, et les volumes de 1 à 20; les grains avaient été choisis parmi les plus gros des nos 1, 4, 7 et 11 qui ont servi aux expériences rapportées dans la seconde partie du chapitre précédent. La hauteur de chute était de 10 mètres; on comptait le temps par demi-secondes, depuis le moment où se faisait entendre la voix de la personne qui lâchait les grains jusqu'à l'instant où ces grains venaient frapper l'eau disposée au-dessous dans un baquet. Les résultats inscrits sur le tableau suivant sont des moyennes de douze à quinze observations faites chacune sur une dizaine de grains abandonnés à la fois. Manière d'opérer

On comprend qu'il est difficile de répondre de l'exactitude des temps à plus d'un quart de seconde près, tant pour le moment du départ que pour celui de l'arrivée; des erreurs de toute une demi-seconde sont donc

(*) Voir la première partie, 4e série, t. XX, p. 379 et 535.

possibles, et, de plus, comme la cause d'erreur est indépendante de la durée de la chute, nos observations peuvent se trouver d'autant moins précises qu'elles s'appliquent à des temps plus courts (1).

**Tableau n° VI.** *Temps de chute des sables dans l'air, sur 10 mètres de hauteur.*

| Nature des sables. | N° 1. | | | N° 4. | | | N° 7. | | | N° 11. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Poids. | Volume. | Temps. | Poids. | Volume. | Temps. | Poids. | Volume. | Temps. | Poids | Volume | Temps |
| | millig. | mm3. | secondes | millig. | mm3. | secondes | millig. | mm3. | secondes | millig. | mm3. | secondes |
| Houille. | 27,5 | 21,65 | 1,89 | 13,5 | 10,63 | 1,97 | 5,5 | 4,33 | 2,28 | 1,75 | 1,38 | 2,56 |
| Quartz.. | 56,0 | 21,62 | 1,65 | 26,0 | 10,04 | 1,70 | 8,0 | 3,09 | 1,80 | 2,80 | 1,08 | 2,18 |
| Galène.. | 162,0 | 22,01 | 1,54 | 73,0 | 9,91 | 1,55 | 30,0 | 4,07 | 1,62 | 9,50 | 1,29 | 1,63 |

Ce qui frappe d'abord dans ce tableau, c'est l'extrême petitesse des différences entre les temps de chute propres à des substances aussi éloignées par leurs densités que la galène et la houille.

En matière de préparation mécanique, ces différences sont importantes à considérer, puisque nous avons montré (2) que c'est des temps de chute que dépend essentiellement le succès de la préparation des grenailles et des sables : or, cela étant, il est évident qu'on aura d'autant plus de facilité à saisir et à isoler les parties utiles que les temps de chute des matières à séparer laisseront entre elles plus d'intervalle.

Remarquons, d'ailleurs, que les différences de temps qui se déduiront du tableau ci-dessus méritent plus de confiance que chacun des temps de chute considéré iso-

(1) On aurait sans doute obtenu des résultats plus satisfaisants si l'on avait eu à sa disposition une de ces montres à compteur indépendant, dont on fait usage pour l'observation des étoiles filantes par exemple.

(2) Voir *Annales des mines*, 4e série, t. XX, p. 589.

lément, parce que la cause d'erreur dont nos observations peuvent être affectées étant, de sa nature, à peu près constante, elle a beaucoup de chance de se trouver éliminée en grande partie par la soustraction.

Il y a donc double motif pour porter notre attention sur les différences entre les temps de chute plutôt que sur ces temps eux-mêmes.

Or, pour une hauteur de 10 mètres, les temps de chute correspondants aux quatre calibres des grains de houille et de galène que nous avons observés, présentent les différences suivantes : Différences entre les temps de chute dans l'air.

| N° 1. | N° 4. | N° 7. | N° 11. |
|---|---|---|---|
| 0″,35 | 0″,42 | 0,66 | 0″,93 |

Pour le quartz, comparé à la même galène, les différences sont à peu près trois fois plus petites, savoir :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0″,11 | 0,15 | 0,18 | 0,55 |

Ces deux exemples permettent de se faire une idée de ce que seraient ces différences, soit pour des grains plus gros, soit pour des hauteurs moindres, soit enfin pour des gangues lourdes telles que la baryte sulfatée, la pyrite et la blende.

En pareils cas, il ne serait plus possible de compter que sur quelques millièmes de seconde, c'est-à-dire sur des temps que la pratique permet de considérer comme nuls.

On voit déjà par ce qui précède que la préparation mécanique des minerais doit rencontrer bien plus de difficultés dans l'air que dans l'eau ; mais il est nécessaire de se reporter à ce qui se passe dans l'eau pour apprécier le degré d'influence nuisible que la petitesse des différences entre les temps de chute est capable d'exercer sur un système de préparation mécanique qu'on voudrait pratiquer dans l'air. Notre tableau n° V (1)

(1) *Annales des mines*, 4ᵉ série, t. XX, p. 559.

contient, dans ses quatre dernières colonnes, tout ce qui est nécessaire pour former, à ce sujet, le tableau suivant, dont les éléments sont parfaitement comparables à ceux du tableau n° VI donné ci-dessus.

Pour former le tableau n° VII, il a suffi de multiplier par dix les temps du tableau n° V, en nous fondant sur une expérience spéciale faite dans notre tube de 6 mètres, expérience qui a prouvé que, pendant la chute des grains de sable au milieu de l'eau, le mouvement était uniforme.

TABLEAU N° VII. *Temps de chute des sables dans l'eau, sur 10 mètres de hauteur.*

| NATURE des sables. | N° 1. | | | N° 4. | | | N° 7. | | | N° 11. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Poids. | Volume. | Temps. | Poids. | Volume. | Temps. | Poids. | Volume. | Temps. | Poids. | Volume. | Temps. |
| | millig | $mm^3$. | secondes | millig. | $mm^3$. | secondes. | millig | $mm^3$. | secondes. | millig. | $mm^3$. | secondes. |
| Houille. | 21 | 18,89 | 118,90 | 14,6 | 11,49 | 134,50 | 6,7 | 5,27 | 157,70 | 1,30 | 1,02 | 258,6 |
| Quartz.. | 60 | 23,16 | 47,50 | 20,0 | 7,72 | 56,50 | 9,3 | 3,58 | 65,90 | 1,70 | 0,65 | 107,8 |
| Pyrite. . | 101 | 21,35 | 28,20 | 40,0 | 8,54 | 32,10 | 22,0 | 4,71 | 36,50 | 4,50 | 0,95 | 51,4 |
| Galène.. | 139 | 18,63 | 26,10 | 73,0 | 9,82 | 27,70 | 31,0 | 4,15 | 30,40 | 10,50 | 1,40 | 36,1 |

En comparant les différences entre les temps de chute dans l'eau qui correspondent soit à la galène et à la houille de même calibre, soit à la galène et au quartz, on trouve que, dans l'eau comme dans l'air, ces différences croissent à mesure que le calibre diminue, mais que le rapport de ces différences à celles trouvées pour l'air est à peu près constant.

Rapport entre les différences des temps de chute dans l'eau et dans l'air.

Ainsi, pour la galène comparée à la houille, les différences entre les temps de chute paraissent être 238 fois plus grandes dans l'eau que dans l'air; pour la galène comparée au quartz, ces différences ne seraient que 194 fois plus grandes. Il est probable que pour la galène comparée à la pyrite, les différences seraient

moindres encore, comme nous l'avons observé dans nos expériences, sur des liquides de densités différentes (1).

Sans nous étendre de nouveau sur les causes de ces variations qui ont été indiquées la première fois qu'elles se sont manifestées, nous nous contenterons de conclure sommairement de ce qui précède que dans l'eau les différences entre les temps de chute des minéraux de même calibre sont environ 200 fois plus grandes que dans l'air.

Conséquences de la petitesse des différences entre les temps de chute.

Cette conclusion générale suffit pour permettre d'établir qu'un système de préparation, qu'on voudrait fonder sur la précipitation au milieu de l'air, aurait toute chance d'être sujet à des difficultés considérablement plus grandes que celles qu'on rencontre dans l'eau.

En effet, nous avons montré, à propos du travail des cribles à secousses (2) que dans l'eau, pour une chute de 4 à 5 centimètres, les résistances engendrées par la position initiale de chaque grain, au moment de la mise en suspension, nuisent assez au jeu des pesanteurs spécifiques pour qu'il faille répéter les secousses jusqu'à 1.500 fois avant d'obtenir une séparation complète. On est fondé à en induire que dans l'air la chute peut être 100 ou même 200 fois plus grande, égale par conséquent à 8 ou 10 mètres, sans cesser d'être sujette aux effets nuisibles d'une chute trop restreinte. Or si une chute de 8 à 10 mètres peut être nécessaire rien que pour laisser aux grains de sable le temps de prendre la position la plus convenable au jeu de leurs densités et de leurs volumes, à quelles difficultés pratiques ne doit-on pas s'attendre si l'on prétend parvenir à une préparation complète? Dans l'eau, deux manières d'opérer sont usitées, qui sont aussi faciles à pratiquer

(1) *Annales des mines*, 4ᵉ série, t. XX, p. 566 à 568.
(2) *Annales des mines*, 4ᵉ série, t. XX, p. 589.

l'une que l'autre : 1° on peut ou bien ne mettre la matière en suspension que sur une petite hauteur et multiplier les mises en suspension ; 2° ou bien se contenter d'une seule précipitation en augmentant convenablement la hauteur, ou, ce qui revient au même, le temps de chute.

L'air est d'une application plus difficile que l'eau.

Dans l'air, l'une et l'autre manière d'opérer serait également embarrassante ; car répéter un grand nombre de fois des chutes de plusieurs mètres ne serait pas moins inadmissible que de se contenter d'une chute unique, dont il faudrait porter la durée à plus d'une minute, si l'on voulait mettre entre les temps de chute des grains à séparer toute la différence qui, dans l'eau, paraît nécessaire pour rendre la séparation complète.

L'air est d'une application plus restreinte.

Non-seulement l'air n'est pas un milieu aussi favorable que l'eau à la mise en jeu des différences de pesanteurs spécifiques qu'on cherche à utiliser dans la préparation mécanique des minerais, mais il ne semble possible de l'appliquer qu'à des proportions et à des qualités de minerais essentiellement plus restreintes. Ainsi, tandis que, pour un minerai donné, le triage à la main (qui est cher) pourrait s'arrêter aux grenailles de 30 millimètres de côté, par exemple, il ne serait pas impossible qu'il devînt nécessaire de pousser ce triage jusqu'au calibre de 10 et même de 5 millimètres, si, au lieu d'employer l'eau pour la séparation des matières de calibre inférieur, on voulait y substituer l'air. De même telle poussière qui, dans l'eau, est de nature à être traitée avec profit, pourrait redescendre au rang de matière sans valeur, si l'on était dans l'obligation de la préparer dans l'air, c'est-à-dire dans un milieu 780 fois moins dense que l'eau (1).

(1) Théoriquement, cette différence de densités ne devrait rendre la vitesse de chute que 28 fois plus grande dans l'air que

De ces deux circonstances résulteraient nécessairement un accroissement de frais et un accroissement de déchet.

Pour fixer les idées sur le degré d'importance qu'il convient d'attacher à ces deux éventualités, nous allons examiner avec plus de précision que nous ne l'avons fait jusqu'à présent, les variations que les temps de chute éprouvent dans l'eau en raison des calibres, des densités et des formes : partant de là et du rapport que nous avons établi entre les temps de chute dans l'air et dans l'eau, nous pourrons arriver à des inductions concluantes ; car nos expériences relatives à la théorie des cribles à secousses (1) ont suffisamment prouvé que c'est à la considération des différences entre les temps de chute qu'il faut recourir pour se rendre compte des effets à attendre des préparations mécaniques.

Les tableaux III, IV et VII (2) offrent, pour la galène, la pyrite, le quartz et la houille, une série d'observations assez complète, que j'ai mise sous une forme à

---

dans l'eau : en réalité on a eu, pour les trois substances qui ont été l'objet de nos expériences, au lieu de 28, les multiples suivants :

| | Galène. | Quartz. | Houille. |
|---|---|---|---|
| Pour le n° 1......... | 17 | 29 | 63 |
| n° 4......... | 18 | 33 | 68 |
| n° 7......... | 19 | 37 | 69 |
| n° 11....... | 22 | 49 | 101 |

La colonne de la galène est probablement entachée des causes d'erreur qui ont été indiquées au commencement de ce chapitre ; mais on n'en voit pas moins que plus le calibre diminue, plus le défaut de densité du milieu se fait sentir, et cela d'une manière d'autant plus prononcée que la densité du minéral précipité est moindre.

(1) *Annales des mines*, 4e série, t. XX, p. 586 à 589.

(2) Pour les tableaux III et IV, voir *Annales des mines*, 4e série, t. XX, p. 594 et 595.

la fois plus générale et plus saisissable, en construisant les courbes correspondantes à chacune de ces quatre substances, pour une chute de 1 mètre.

Les courbes $\alpha\alpha'\alpha''$, *mn*, $\beta\beta'\beta''$, $\gamma\gamma'\gamma''$ (Pl. III, *fig.* 1) donnent les temps de chute en fonction des calibres. Ceux-ci sont déduits du poids des grenailles ou des sables, au moyen des racines cubiques des volumes correspondants.

Ces quatre courbes s'appliquent aux plus gros grains des différentes classes de grenailles ou de sables qui ont été l'objet de nos expériences. Les grains les plus lents des mêmes classes ont donné lieu aux courbes $\delta\delta'\delta''$, $\mu\nu$, *opq*, *rst*. Enfin la courbe *abcd* est établie à une hauteur arbitraire, conformément au principe théorique des temps de chute inversement proportionnels aux racines carrées des calibres.

Cette courbe *abcd* a servi à rectifier quelques irrégularités locales des courbes relatives au quartz et à la galène.

Deux faits ressortent clairement de l'examen de la *fig.* 1, c'est que, pour tout procédé de préparation mécanique exclusivement fondé sur l'inégalité des temps de chute des matières à séparer, il y a à considérer deux limites de grosseur des grains (un maximum et un minimum) au delà desquels il n'y a plus de séparation complète à attendre.

Limite supérieure du calibre des grains propres à être séparés par voie de suspension dans l'eau.

L'existence de la limite supérieure se déduit de l'allure des courbes qui se rapprochent visiblement à mesure que les calibres augmentent, mais elle reste indéterminée, parce que les données qui ont servi à tracer ces courbes ne sont pas tout à fait assez étendues. Néanmoins, il est facile de déduire de ce tableau la position approximative de cette limite supérieure. En effet, si on groupe les différents calibres des grenailles et des

sables en classes correspondantes à celles que les procédés de classement usités produisent en grand et si, au moyen des horizontales $x$, $y$, $z$, etc..., on détermine, pour chacune des classes, la différence $xx'$, $yy'$, etc... entre les temps de chute des grains de quartz les plus gros et des grains de galène les plus lents à descendre, on remarque que, tandis que cette différence est de 1/2 seconde pour la deuxième classe, elle n'est plus que de 1/4 de seconde pour la première ; ceci pour une chute totale de 1 mètre. Et comme les chutes usitées pour la préparation des grenailles dans l'eau ne dépassent guère $0^m,10$, cette différence de 1/4 de seconde se traduit, pour la pratique, en une simple différence de 2 à 3 centièmes de seconde. Ce n'est donc pas trop s'aventurer que de conclure de ce qui précède qu'au voisinage du calibre de 25 à 30 millimètres, le simple jeu des pesanteurs spécifiques devient incapable de donner lieu à une séparation complète entre le quartz et la galène.

Cette induction est confirmée par la pratique des ateliers; c'est en effet au voisinage du calibre de 25 à 30 millimètres que l'on pousse communément le triage à la main, quand on a affaire à de la galène quartzeuse.

S'il s'agissait de baryte sulfatée à séparer de la galène, cette limite supérieure devrait s'abaisser encore. On voit en effet, d'après l'échelle des densités (voir l'explication des planches) que la baryte sulfatée prend place au tiers environ de la distance du quartz à la galène, plus près de cette dernière, et que, par suite, la différence des temps de chute entre les grains extrêmes de la même classe doit devenir nulle pour un calibre assez faible. Aussi, dans ce cas, pousse-t-on le triage à la main jusqu'au calibre de 5 à 6 millimètres. C'est ce dont j'ai été témoin dans l'atelier de la mine de

Rosenhof, près de Clausthal, dans le Harz. Les enfants employés à ce triage reçoivent par semaine 9 bons gros 4 pfennings, c'est-à-dire 1f,38 (1).

Le rapprochement de ces deux exemples prouve que, dans la pratique, on se trouve conduit à pousser le triage à la main d'autant plus loin que la différence entre les temps de chute des matières à séparer est moindre. Par conséquent, sans chercher à fixer exactement la limite supérieure des calibres de grenailles capables d'être préparées au moyen d'une préparation dans l'air, nous pouvons affirmer que cette limite sera beaucoup moins élevée que pour une préparation faite à l'eau, puisque nous savons que, dans l'air, les différences entre les temps de chute sont environ 200 fois plus petites.

Limite inférieure. L'expérience a également fixé au calibre des grains capables d'être séparés par le jeu exclusif des pesanteurs spécifiques, une limite inférieure dont le tableau synoptique (voir l'explication de la Pl. III), rend compte avec plus de précision que pour la limite supérieure.

En effet, les horizontales $x$, $y$, $z$, $u$, $v$ et $w$, dont il a déjà été question, montrent que la différence entre les temps de chute des grains de quartz les plus rapides et des grains de galène les plus lents va en croissant jusqu'à la troisième classe inclusivement; que cette différence commence à décroître pour la quatrième, qu'elle devient à peu près nulle pour la cinquième, et qu'au delà elle se trouve négative. Cela veut dire que, pour des sables de calibre inférieur à 2 millimètres, les

(1) Peut-être ne pousserait-on pas le triage si loin si le minerai ne contenait en même temps du fer carbonaté, qu'on y laisse en qualité de fondant.

parcelles de galène les plus lentes (qui s'y trouvent inévitablement mêlées) tombent moins vite que les grains de quartz les plus rapides. Dès lors le jeu des pesanteurs spécifiques ne suffit plus pour opérer la séparation. Aussi est-ce au voisinage de ce calibre qu'on a coutume de recourir à des appareils où les différences de pesanteurs spécifiques ne jouent plus qu'un rôle secondaire.

Comme une préparation mécanique qu'on voudrait opérer sans l'intervention d'autre fluide que l'air devrait être basée principalement sur le jeu des pesanteurs spécifiques, il résulte de ce qui précède que c'est à la suite de la cinquième classe, c'est-à-dire au voisinage du calibre de 2 millimètres, et très-probablement à un calibre plus grand, que se trouve la limite inférieure des grenailles et des sables de galène quartzeuse susceptibles d'être préparées au moyen de l'inégalité de leurs temps de chute dans l'air.

Si, au lieu d'avoir affaire à de la galène quartzeuse, on avait à considérer un minerai qui, avec le quartz, renfermerait une matière métallique analogue, par sa densité et sa structure, à notre pyrite de fer, les courbes *mn* et $\mu\nu$ montrent que le jeu des pesanteurs spécifiques ne permettrait plus de séparation complète au-dessous du calibre de 3 1/4 millimètres.

Il y a même lieu de croire que, pour une séparation à opérer dans l'air, cette limite inférieure correspondrait à un calibre plus élevé encore, en raison de l'extrême réduction que les différences entre les temps de chute éprouvent dans ce milieu.

Il résulte donc de tout ce qui précède que, d'une part, l'abaissement de la limite supérieure, et de l'autre l'élévation de la limite inférieure, doivent réduire considérablement tant la proportion que la nature des

minerais capables d'être traités avantageusement au moyen d'une préparation basée sur la précipitation dans l'air.

Dans le travail ordinaire à l'eau, on dispose de plusieurs artifices qui permettent de reprendre les matières échappées au jeu exclusif des pesanteurs spécifiques, et d'en retirer encore une bonne partie du contenu. Aussi, bien que la séparation du quartz et de la pyrite, par exemple, ne puisse pas être complète au-dessous du calibre de 3 1/4 millimètres, tant qu'on ne met en jeu que les différences de pesanteurs spécifiques, on n'en soumet pas moins au travail des cribles à secousses des sables de calibre inférieur : en Angleterre notamment, la pyrite cuivreuse est criblée jusqu'au calibre de 2 et même de 1 millimètre. De cette manière, on n'obtient, il est vrai, qu'une séparation partielle du minerai net; mais en même temps l'interposition du crible permet d'éliminer assez complétement la partie fine; il est donc facile de reprendre celle-ci à part, pour l'enrichir à son tour, au moyen de différents procédés où l'on utilise des différences de propriétés qui, dans la récipitation simple, seraient des obstacles.

Mais on ne conçoit pas qu'il soit possible de tirer parti en grand dans l'air des différents de ces effets qui sont mis en jeu dans les caisses allemandes, les *budles*, les tables à secousses, les tables dormantes, les *frames*, les *round-budles* et autres appareils analogues.

Sacrifier les matières qui y sont traitées serait perdre communément le quart, la moitié et souvent plus, des parties utiles que le minerai contient. C'est inadmissible.

Conclusions relatives à l'emploi de l'air.

Je conclurai finalement que l'air est non-seulement inférieur à l'eau comme milieu à employer dans la préparation mécanique des minerais, mais que son insuffi-

sance semble telle qu'il n'y a pas lieu de penser à en faire usage autrement que, comme on le fait de temps immémorial, pour expulser de fines poussières sèches associées avec des grains de calibre parfaitement appréciable. Hors de là, 1° pour les grenailles, le jeu des pesanteurs spécifiques serait paralysé en grande partie par la brièveté extrême des temps de chute; 2° pour les sables, les moyens de classement usités laisseraient trop de différence de volume entre les grains d'une même classe pour que la séparation pût être complète; 3° enfin, pour les poussières, ces différences deviennent telles que la séparation, par le seul effet du jeu des pesanteurs spécifiques, ne peut plus porter que sur des proportions insignifiantes de matière utile, sans qu'il paraisse possible de trouver dans l'emploi de l'air les ressources qu'offre l'eau pour compléter la séparation.

Cependant l'emploi exclusif de la ventilation a déjà été préconisé plusieurs fois pour la préparation mécanique des minerais. Sans parler des projets qui n'ont pas été publiés, je rappellerai les deux citations suivantes, empruntées aux *Annales des mines* :

**Opinions diverses sur l'emploi de l'air.**

Dans un mémoire sur les minerais de plomb de la sierra de Gador, on lit : « Qu'on substitue le ventilateur de M. Grand-Besançon à ce qui existe aujourd'hui dans la sierra de Gador, et l'on aura *un excellent mode de préparation mécanique*, parce que les gangues sont toutes beaucoup plus légères que les minerais (1). »

On sait que ce qui existe aujourd'hui dans la sierra de Gador est le *garbillage* (2), procédé très-remar-

(1) *Annales des mines*, 3ᵉ série, t. XIX, p. 236.

(2) Voir la description de ce procédé que j'ai donnée dans le t. XVI des *Annales des mines*, 4ᵉ série, p. 3 et 5.

quable qui est propre aux régions arides de l'Espagne. Or, par rapport aux grenailles et aux gros sables, le garbillage ne me semble inférieur aux procédés ordinaires que par suite d'une manipulation de plus qu'il exige, pour séparer le minerai net du fluide terreux au milieu duquel on a opéré. Aussi, pour les grenailles et les gros sables, je n'hésite pas à croire que les considérations que j'ai fait valoir contre l'emploi de l'air conservent toute leur force, et qu'il n'y aurait rien de bon à attendre de la substitution de la ventilation au garbillage.

Quant à ce qui est des sables fins et des poussières, l'insuffisance du garbillage n'est pas douteuse; elle est telle que cette catégorie de produits est à peu près complétement délaissée. Il est donc possible que la ventilation offre quelque ressource à ce sujet. Je n'y compte pas, mais je n'oserais pas en condamner l'essai, eu égard à l'aridité absolue de la localité et à l'état d'abandon des immenses tas de matières auxquelles cet essai devrait s'appliquer.

D'après M. Grand-Besançon — qui ne fait pas de distinction entre le calibre des matières à traiter — l'efficacité de son procédé serait telle que « bien que le sulfate de baryte affecte les mêmes formes que la galène, » et quoique les densités ne soient pas fort différentes, » la séparation s'en opère encore assez facilement pour » faire préférer le courant d'air au courant d'eau (1). »

A plus forte raison l'auteur juge-t-il facile la séparation du quartz. On ne peut donc pas désirer mieux, puisque l'air ne manque nulle part.

Cependant voilà plus de vingt-cinq ans que le procédé de M. Grand-Besançon est publié, et nulle part,

(1) *Annales des mines*, 2e série, t. IV, p. 298.

que je sache, il n'a été adopté dans les ateliers de préparation mécanique. L'auteur ne s'était pourtant pas contenté de mettre en avant une idée; il paraissait s'appuyer sur des expériences faites, car il donnait le dessin de l'appareil essayé, et allait jusqu'à préciser la quantité de minerai que trois hommes peuvent aisément traiter en dix heures au moyen de cet appareil (1).

**Expériences sur la ventilation appliquée à la préparation des sables et des poussières.**

J'ai voulu me rendre compte, par expérience, du désaccord des opinions que je viens de rapporter avec les considérations théoriques exposées ci-dessus.

Les recherches suivantes sur la ventilation montreront que, selon toute apparence, M. Grand-Besançon a trop favorablement auguré de quelques expériences incomplètes, et que, considérée comme procédé de préparation mécanique, la ventilation ne laisse pas moins à désirer par rapport à la perfection de la séparation des matières qu'au point de vue de la force à dépenser.

Pour cette nouvelle série de recherches, j'ai cru devoir expérimenter directement la disposition et même les dimensions de l'appareil décrit par M. Grand-Besançon. Il m'a semblé néanmoins que la nature des faits que je me proposais de vérifier permettait de faire abstraction de la chambre de condensation, qu'il était difficile de loger dans l'emplacement dont je disposais. Je la supprimai donc.

Les autres différences que présente notre appareil par rapport à celui de M. Grand-Besançon, furent sans importance. Les *fig.* 2 et 3 de la Pl. III permettront d'en juger, si on les compare à la planche du mémoire de M. Grand-Besançon.

**Résistances dues à différentes parties de l'appareil.**

La suite des expériences entreprises avec cet appareil me conduisit à une modification qui dérive sans

(1) *Annales des mines*, 2ᵉ série, t. IV, p. 299.

doute de la suppression de la chambre de condensation. Ainsi je reconnus que le couvercle AB empêchait les matières d'être portées aussi loin que lorsque, avec une même vitesse du ventilateur, ce couvercle était enlevé. L'effet dont il s'agit — causé sans doute par quelques remous qui réagissaient contre le courant — a été constaté au moyen d'expériences faites sur des sables de galène, de pyrite, de quartz et de houille du calibre n° 11, c'est-à-dire d'un millimètre au plus de côté. La résistance due à la présence du couvercle était telle qu'une augmentation de 1/6 dans la vitesse du ventilateur se montrait insuffisante pour en neutraliser l'effet.

Je crus donc devoir supprimer le couvercle, cette cause d'une résistance inutile qui aurait empêché de tirer tout le parti possible de la vitesse du ventilateur dont nous disposions.

La planche du bout *ab*C paraît aussi mettre obstacle à l'entraînement des matières; néanmoins je l'ai conservée, parce que la résistance opposée par cette planche verticale était beaucoup moindre que celle à laquelle le couvercle horizontal donnait lieu.

Le couvercle AB étant supprimé, un essai fut fait sans la cloison *ed*D, dont M. Grand-Besançon dit : « C'est de cette cloison que dépend presque tout le bon » effet de l'appareil; elle empêche le courant d'air, en » sortant du ventilateur, d'entrer directement dans le » canal EF, où ce courant produirait des effets nui- » sibles. »

Il m'a paru intéressant de constater en quoi consistaient ces effets nuisibles : deux séries d'expériences comparatives ont été faites à ce sujet, l'une sur de la houille n° 11, avec une vitesse de ventilateur de 145 à 150 tours par minute, l'autre sur du quartz de même calibre, avec une vitesse de 150 à 160 tours.

Les *fig.* 4 et 5 rendent sensible aux yeux l'effet de la présence ou de la suppression de la cloison *ad*D. La *fig.* 4 s'applique à la houille, la *fig.* 5 au quartz. Les n$^{os}$ 0, 1, 2, 3, 4, 5, etc., correspondent aux cases successives disposées au fond de la chambre à séparation EF, à partir de l'aplomb de la trémie T (*fig.* 2). Les ordonnées des courbes représentent les poids de matière recueillie dans chacune des cases correspondantes; par conséquent chacune des courbes formées en joignant les sommets de ces ordonnées, figure le profil de la surface de l'une des traînées de houille ou de quartz chassée par le souffle du ventilateur.

Les courbes pointillées se rapportent au travail sans cloison, les courbes pleines au travail avec cloison.

On voit que la présence de la cloison donnant lieu à la diffusion du vent sur toute la hauteur de la chambre, la masse des matières poussée ainsi en avant pendant toute la durée de leur chute, s'éloignait davantage et en bloc du point de départ. Au contraire, sans cloison, le vent s'étendait moins en hauteur, mais il soufflait avec plus d'énergie dans la région qu'il parcourait : il en résultait que les particules les plus légères restant plus longtemps en suspension que les plus lourdes, se ressentaient proportionnellement davantage de l'action du vent; elles étaient donc poussées plus loin que dans le premier cas, tandis que les parties les plus lourdes, qui ne restaient sous l'action du courant qu'un temps infiniment court, échappaient presque à cette action, et se trouvaient ainsi portées moins loin du point de départ què sous l'influence de la cloison. De là confusion des deux sortes de sables.

Ainsi la cloison *ad*D peut en effet favoriser un peu la séparation des matières dont les temps de chute sont inégaux. Elle a été conservée.

Vitesse de débit convenable.

On a eu occasion de reconnaître que toutes les fois qu'on a mis moins de 20 secondes pour laisser tomber sous le vent un décimètre cube de sable, celui-ci échappait en partie à l'action du courant, et se trouvait entraîné moins loin que lorsque le débit durait davantage. D'autre part, il a paru inutile de prolonger la durée de ce débit au delà de 30 à 35 secondes.

Il résulte de là qu'un distributeur capable d'assurer la régularité du débit serait un appendice fort utile de l'appareil Grand-Besançon. Quelques-unes de nos expériences ont pu souffrir de cette imperfection de l'appareil.

Une autre cause peut empêcher nos expériences d'être toutes parfaitement concluantes : c'est l'impossibilité où nous étions de régler et même de mesurer avec précision la vitesse de notre ventilateur pendant la très-courte durée de chacune des projections de matière.

Malgré ces irrégularités, il me semble que les résultats obtenus permettront des conclusions d'autant plus décisives qu'elles ne feront que confirmer des inductions tirées précédemment d'expériences toutes différentes.

J'ai soumis successivement à deux séries d'expériences la houille, le quartz, la pyrite et la galène. La première série a été faite avec une vitesse de ventilateur qui a varié de 60 à 96 tours par minute, la seconde avec une vitesse de 150 à 200 tours.

Les deux tableaux suivants donnent les résultats de nos deux séries d'expériences rapportées à 1.000 centimètres cubes de sable. La *fig.* 2 montre la position respective et l'étendue absolue des compartiments numérotés de 0 à 8, qui ont reçu les quantités de matière inscrites sous chacun de ces neuf numéros.

TABLEAU n° VIII *relatif au classement des sables sous l'impulsion d'un courant d'air à petite vitesse.*

| DÉSIGNATION des minéraux. | Calibres. | TOURS du ventilateur par minute. | DURÉE de la projection. | QUANTITÉS reçues dans les cases. 0 | 1 | 2 | 3 | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $c^3$ | $c^3$ | $c^3$ | | |
| Houille. . . . | n° 1 | 66 | 35″ | 149 | 804 | 46 | » | Les grains n° 1 passent à travers des trous ronds de $4^{mm},44$ et restent sur des trous ronds de $4^{mm},17$ de diamètre. |
| | n° 4 | 60 | 27 | 25 | 875 | 100 | » | |
| | n° 7 | 90 | 19 | 0 | 392 | 571 | 35 | |
| | n° 11 | 72 | 30 | 0 | 156 | 781 | 62 | |
| Quartz. . . . | n° 1 | 84 | 14 | 522 | 456 | 22 | » | Les grains n° 4 passent à travers $3^{mm},94$ et restent sur 3,67. |
| | n° 4 | 60 | 10 | 160 | 812 | 27 | » | |
| | n° 7 | 66 | 10 | 29 | 742 | 228 | » | |
| | n° 11 | 54 | 30 | 0 | 441 | 539 | 19 | |
| Pyrite. . . . | n° 1 | 60 | 12 | 583 | 417 | » | » | Pour le n° 7, c'est $2^{mm},77$ et $2^{mm},50$. |
| | n° 4 | 72 | 7 | 98 | 902 | » | » | |
| | n° 7 | 80 | 30 | 300 | 700 | » | » | |
| | n° 11 | 66 | 70 | 0 | 535 | 464 | » | |
| Galène. . . . | n° 1 | 96 | 36 | 485 | 485 | 30 | » | Enfin, le n° 11 traverse $1^{mm},77$ et reste sur 1.50. |
| | n° 4 | 90 | 36 | 526 | 456 | 17 | » | |
| | n° 7 | 89 | 42 | 187 | 791 | 20 | » | |
| | n° 11 | 72 | 21 | 28 | 931 | 36 | » | |

TABLEAU n° IX *relatif au classement des sables sous l'impulsion d'un courant d'air à grande vitesse.*

| DÉSIGNATION des minéraux. | Calibres. | TOURS du ventilateur par minute. | DURÉE de la projection. | QUANTITÉS reçues dans les cases. 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Houille. . . . . . | n° 1 | 162 | 60″ | 109 | 297 | 406 | 96 | 90 | » | » | » |
| | | 192 | 31 | 0 | 130 | 560 | 242 | 56 | 9 | » | » |
| | n° 4 | 200 | 36 | 15 | 148 | 404 | 301 | 103 | 29 | » | » |
| | n° 7 | 180 | 35 | 0 | 130 | 460 | 300 | 90 | 10 | » | » |
| | n° 11 | 169 | 28 | 0 | 17 | 35 | 140 | 245 | 316 | 210 | 35 |
| | | 174 | 12 | 0 | 27 | 66 | 215 | 355 | 240 | 70 | 25 |
| Quartz. . . . . , | n° 1 | 156 | 30 | 36 | 796 | 144 | 22 | » | » | » | » |
| | | 130 | 98 | 55 | 802 | 123 | 18 | » | » | » | » |
| | n° 4 | 190 | 35 | 0 | 157 | 678 | 135 | 21 | 6 | » | » |
| | n° 7 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |
| | n° 11 | 180 | 23 | 0 | 23 | 278 | 377 | 222 | 83 | 15 | » |
| | | 192 | 66 | 0 | 0 | 80 | 400 | 350 | 120 | 30 | 10 |
| Pyrite. . . , . . . | n° 1 | 198 | 26 | 5 | 914 | 71 | 10 | » | » | » | » |
| | | 150 | 37 | 38 | 895 | 51 | 12 | 3 | » | » | » |
| | n° 4 | 145 | 23 | 20 | 917 | 43 | 10 | 9 | » | » | » |
| | n° 7 | 180 | 35 | 40 | 736 | 200 | 22 | » | » | » | » |
| | n° 11 | 156 | 24 | 0 | 50 | 635 | 255 | 50 | » | » | » |
| Galène. . . . . . | n° 1 | 186 | 41 | 80 | 797 | 92 | 31 | » | » | » | » |
| | n° 4 | 180 | 80 | 85 | 834 | 57 | 23 | » | » | » | » |
| | n° 7 | 181 | 27 | 36 | 857 | 89 | 18 | » | » | » | » |
| | n° 11 | 198 | 26 | 33 | 747 | 186 | 23 | 8 | 3 | » | » |
| | | 168 | 15 | 0 | 590 | 360 | 30 | 10 | 10 | » | » |

En comparant ces deux tableaux, on voit d'abord qu'à vitesse égale : 1° les sables d'une même substance sont projetés d'autant plus loin que leur calibre est moindre; 2° que pour des substances différentes, mais de même calibre, ce sont les plus denses qui résistent le plus au courant; 3° que l'éparpillement des matières projetées croît avec la distance à laquelle elles se trouvent portées, de manière qu'elles forment au fond de la chambre à séparation EF un dépôt d'autant moins concentré que la densité de la substance et le calibre des grains sont moindres; 4° enfin on reconnaît qu'une augmentation de vitesse peut produire des effets analogues à ceux qui résulteraient de diminutions convenables, soit dans la densité, soit dans le calibre, et réciproquement.

Il suit de là que pour séparer des matières de densités différentes, il faut d'autant plus de vitesse que les calibres des grains sont plus gros ou que les densités sont moins différentes.

Ces résultats généraux pouvaient être déduits *à priori* des deux circonstances principales de la préparation par ventilation, savoir : le mouvement dans le sens horizontal du milieu dans lequel les sables tombent, et l'inégalité de la durée pendant laquelle la chute doit avoir lieu pour des corps différents par leurs densités, leurs calibres et leurs formes.

**Essais constatant l'insuffisance de la ventilation pour la préparation des sables.**

Mais c'est en partant de ces principes que M. Grand-Besançon avait jugé facile la préparation des minerais au moyen de la ventilation, tandis que nos deux derniers tableaux montrent au contraire que, dans l'emploi de ce procédé, on doit s'attendre à de grandes difficultés de plus d'un genre. En effet, si dans les limites de vitesse propres à nos expériences, les matières qui ont été successivement soumises à la ventila-

tion avaient été projetées ensemble, chacune en poids égal, et s'étaient conduites à l'état de mélange comme elles l'ont fait isolément, on n'aurait eu de séparation véritablement satisfaisante pour aucune d'elles, pas même pour la houille la plus fine comparée à la galène la plus grosse. Ainsi, pour la grande vitesse, qui a donné les moins mauvais résultats, les expériences relatives à la galène et au quartz n° 4 prouvent que 8 à 9 p. 100 seulement de la galène seraient séparés, qu'une quantité à peu près égale de cette dernière substance se trouverait mêlée avec 85 ou 90 p. 100 de substance étrangère, et que le reste en retiendrait au moins 14 ou 15 p. 100.

Pour le quartz et la galène n° 11, les résultats sont moins mauvais, mais ils sont encore loin d'être bons. Moitié environ de galène serait séparée, 1/3 au moins se trouverait associé avec une proportion de quartz qui dépendrait de la teneur du mélange, et le reste pourrait être considéré comme perdu dans une masse de nulle valeur.

On peut objecter que les vitesses de notre ventilateur étaient insuffisantes. Mais nous avons été jusqu'à 250 tours par minute sans amélioration sensible, et il n'est pas vraisemblable que les deux hommes mis par M. Grand-Besançon aux manivelles de son ventilateur aient pu lui imprimer une vitesse plus grande.

Or pour des matières pareilles à celles sur lesquelles nous avons opéré, on peut affirmer qu'il n'est pas un seul des procédés ordinaires de lavage qui ne donnât de meilleurs résultats, non-seulement par rapport à la netteté des produits et à la proportion des déchets, mais encore relativement à la force dépensée.

Au Harz, par exemple, on admet que le *shûrerz*,

traité par toute la série des opérations usitées dans ce pays, ne donne pas une perte en métaux de plus de 4 p. 100 (1) Le *shûrerz* est un minerai tenant de 25 à 30 p. 100 de galène, tellement engagée dans la gangue qu'il faut soumettre le tout à une préparation mécanique complète, avec possibilité pourtant d'en retirer, par criblage, une certaine quantité de grenailles bonnes à fondre.

La ventilation appliquée à un mélange pareil aurait toute chance de donner des résultats moins avantageux. En effet, pour le n° 11, c'est-à-dire pour le calibre qui exige le moins de vitesse, on voit que, du premier coup, les 3/4 seulement de la galène seraient séparés d'une manière satisfaisante; encore cette séparation, admissible pour le Harz, où les minerais de plomb sont fondus au haut fourneau, serait-elle insuffisante pour une usine qui aurait à traiter directement ses minerais, soit au réverbère du pays de Galles, soit au réverbère breton, deux genres de fourneaux qui ne comportent qu'une dose de quartz très-limitée et, dans tous les cas, inférieure aux 8 1/2 p. 100 que contiendrait la meilleure partie du produit. Près de 1/5 de la galène resterait confondu dans le troisième compartiment avec au moins quatre fois et demie son poids de quartz, et 3 1/2 p. 100 de la même galène se trouveraient éparpillés dans les compartiments 3, 4 et 5, avec soixante fois au moins son poids de quartz. Cette dernière classe de produit doit être considérée comme nulle valeur par rapport à la ventilation, qui n'a aucun moyen d'isoler les lamelles et les poussières métalliques entraînées avec le quartz dans les compartiments de cette

(1) Voir *Annales des mines* de 1851, p. 633.

classe. Un autre déchet probablement considérable résulterait nécessairement du traitement subséquent du cinquième recueilli dans le troisième compartiment ; de sorte qu'il y a tout lieu d'admettre que le déchet total de 4 p. 100 attribué à l'ensemble des préparations de Harz pour le *shûrerz* serait déjà dépassé par le seul fait de la ventilation. Il faudrait y ajouter : 1° toute la galène qui, dans les grains plus gros que le n° 11 et dans le n° 11 lui-même, n'aurait pas été séparée du quartz par le broyage et perdrait ainsi le bénéfice de son excès de densité ; 2° toute la galène qui, dans les sables plus fins que le n° 11 et dans les poussières, perdrait également le bénéfice de sa densité par suite de son extrême division.

Ces deux causes de déchets dont nous faisons abstraction représentent, à elles seules, la presque totalité des causes de déperdition auxquelles les procédés ordinaires sont sujets. Le déchet total d'un traitement complet par ventilation semble donc devoir être bien supérieur à celui qui résulte des lavages ordinaires.

Pour ce qui est de la force dépensée, l'infériorité de la ventilation n'est pas moindre. En effet, nous avons eu, dans les expériences que nous considérons, une vitesse de 180 à 198 tours par minute ; or notre ventilateur ayant été construit sur le modèle et avec les dimensions intérieures de celui de Rouen, qui a été étudié avec tant de soin par M. de Saint-Léger (1), on est en droit d'inférer de cette vitesse que la force correspondante est de 1^ch^,10 environ. De plus, comme à la suite de la première ventilation il resterait encore à retraiter 1/5 environ de galène qui est mélangée avec plus de

(1) *Annales des mines*, 3e série, t. XI.

60 p. 100 de quartz, ce mélange ne pourrait donner lieu à une séparation nouvelle plus ou moins complète, qu'au moyen d'une vitesse beaucoup plus grande; de sorte que l'on ne doit pas compter sur moins de 1 1/2 cheval de force à dépenser pour traiter en 10 heures, par ventilation, 1 mètre cube de sable n° 11, tenant de 25 à 30 p. 100 de galène. 1 1/2 cheval pour le seul mouvement du ventilateur, il n'en faudrait pas moins un ouvrier pour alimenter l'appareil et retirer les produits. Cette dépense de force serait d'ailleurs un minimum, puisqu'elle s'applique à la fois aux sables les plus fins qu'on puisse traiter par ventilation et à la gangue la plus légère qu'on puisse rencontrer; or on a vu que la vitesse du ventilateur a besoin de croître considérablement, tant avec le calibre des matières à traiter qu'avec leurs densités.

Avec trois fois moins de force et la même main-d'œuvre, sans acception de calibre, un crible à piston du Harz est capable d'élaborer près de deux fois autant de *shûrerz.*

L'eau consommée dans ce criblage (savoir : deux fois environ le volume de la matière traitée) ne saurait compenser de pareilles différences, si ce n'est dans quelques circonstances tout à fait exceptionnelles.

Cependant les sables n° 11, qui conduisent à des conclusions si peu favorables à l'emploi du ventilateur comme moyen de préparation mécanique, sont ceux auxquels ce procédé semble devoir convenir le mieux; car, d'une part, les sables plus gros exigeraient plus de force pour être répandus sur une étendue convenable, et d'autre part les sables de calibre inférieur rentrent dans la classe des poussières où la galène notamment se trouve à l'état de paillettes que le vent em-

porterait, soit au milieu des parties pierreuses de forme plus concentrée, soit même hors de l'appareil.

Ce dernier fait, qui ressort des considérations théoriques exposées au commencement de ce chapitre, a été établi directement par l'expérience suivante.

**Essais constatant l'insuffisance de la ventilation pour la préparation des poussières.**

On a opéré sur un certain minerai quartzeux du département du Gard qui ne contenait que de 7 à 8 p. 100 de plomb avec 25 grammes environ d'argent aux 100 kilog. de matière brute. Ce minerai était tellement constitué que, pour débarrasser la galène d'une partie de sa gangue, on ne pouvait pas se dispenser de pousser la division au delà du calibre n° 11.

Au moyen d'un bocardage convenable suivi d'un classement par criblage, le minerai avait été préalablement divisé en trois produits :

- 0,20 de grenaille restant sur le crible à maille carrée de 1 1/2 millimètre de côté;
- 0,60 de sable fin passant à travers;
- 0,20 de schlams recueillis dans le bassin de dépôt.

Ce ne sont que les sables fins qui ont été soumis à la ventilation. La nature de ces sables était telle qu'au moyen d'un tamisage fait au tamis de soie il était possible d'isoler, sous forme de fine poussière, un cinquième environ du total où la moitié du plomb contenu dans le sable se trouvait concentrée.

On a opéré dans l'appareil pourvu de son couvercle en imprimant au ventilateur une vitesse de 55 tours environ par minute. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU n° X *relatif au classement des poussières.*

| NUMÉROS des comparti-ments. | QUANTITÉS de sable reçues dans chaque comparti-ment. | DÉCOMPOSITION PAR CRIBLAGES SUCCESSIFS du contenu de chaque compartiment | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | restant sur les tamis | | | passant à travers les tamis de soie. |
| | | de crin. | de batiste. | de soie. | |
| 1 | 59 | 46 | 8 | 3 | 2 |
| 2 | 561 | 144 | 241 | 123 | 53 |
| 3 | 279 | 5 | 56 | 144 | 74 |
| 4 | 80 | » | 3 | 15 | 62 |
| 5 | 14 | » | » | 1 | 13 |
| 6 | 7 | » | » | » | 7 |
| | 1.000 | 195 | 308 | 286 | 211 |

Les trois premiers numéros ne présentaient qu'un sable quartzeux de grain assez uniforme pour chaque numéro, mais paraissant trop pauvre en galène pour pouvoir être traité de nouveau. La poussière reçue dans les trois compartiments suivants avait au contraire une teinte bleue prononcée qui allait en décroissant d'intensité du n° 4 au n° 6. L'essai par voie sèche a donné 18 de plomb p. 100 du n° 4 et 15 pour le n° 5. Le total des trois derniers numéros représentant 10 p. 100 environ du minerai brut a donné 17 1/2 p. 100. Relativement à la totalité du minerai traité, c'était à peine le quart du plomb contenu. Or on a vu que, par tamisage direct du minerai brut, on faisait passer à travers le tamis de soie un cinquième environ du minerai avec la moitié du plomb contenu, le double par conséquent de ce que la ventilation a donné. La différence doit être considérée comme ayant été entraînée par le courant, malgré sa petite vitesse.

Au moyen d'un lavage à la table dormante, on a pu retirer de ce même sable 0,11 de schlich contenant 55 p. 100 de plomb, c'est-à-dire quatre cinquièmes

environ du contenu total ou trois fois autant que ce qu'on avait pu concentrer par ventilation dans une masse double de gangue. On s'est assuré qu'avec une vitesse de ventilateur plus grande la perte était plus considérable, et qu'avec une vitesse moindre la séparation était moins nette. Ainsi, dans le cas des poussières, l'infériorité de la ventilation sur les procédés ordinaires de lavage ne laisse aucun doute.

Les quantités perdues ne sauraient d'ailleurs être considérées comme des produits utiles qu'on aurait pu retenir; leur extrême volatilité les rendait plus difficiles encore à saisir que dans l'eau, où ils échappent en si grande proportion.

Il résulte de tout ce qui précède que la ventilation paraît inférieure de tous points aux procédés ordinaires, par rapport aux sables n° 11, et que, pour des calibres différents (grenailles ou poussières), elle est condamnée à cette alternative : ou plus de force à dépenser, ou plus de déchet à subir, sans pouvoir jamais conduire à une purification aussi avancée.

Ce n'est donc point par la ventilation qu'on peut espérer améliorer la préparation mécanique des minerais.

**Nouvelle manière de tirer parti de la ventilation.**

Dernièrement, à la Nouvelle-Montagne (mine de zinc et de plomb en Belgique), on a repris l'idée de la ventilation appliquée aux préparations mécaniques; non plus avec la prétention de la substituer à toute la série des procédés ordinaires de purification, mais simplement pour venir en aide à ces procédés.

De même que, dans la première partie de ce mémoire, j'avais indiqué le classement par précipitation préalable dans l'eau comme un expédient capable de faciliter et de rendre moins imparfait l'emploi des appareils de préparation ordinaires — tous sans excep-

tion — on a pensé que les sables fins destinés aux cribles à piston, aux caisses allemandes et aux tables à secousses, gagneraient à être préalablement classés dans un appareil à ventilation.

Il est certain que les moyens ordinaires de classement laissent considérablement à désirer pour les sables fins, et même que, le plus souvent, ils sont tellement inefficaces qu'on se dispense d'y recourir. D'autre part, il n'est pas moins certain qu'à employer l'air, on imaginerait difficilement un appareil plus ingénieusement disposé que celui de la Nouvelle-Montagne pour réduire autant que possible les frais de cette préparation supplémentaire. Mais l'essai qu'on a bien voulu en faire sous mes yeux ne m'a pas convaincu que la lacune qui existe réellement dans les moyens actuels de préparation mécanique fût définitivement comblée, et je reste dans l'opinion que, pour parvenir à ce résultat, l'eau offre des ressources bien plus puissantes et plus variées que l'air.

Le croquis *fig.* 5 de la Pl. II donnera une idée de la partie principale du nouvel appareil de la Nouvelle-Montagne, qui s'y trouve représenté en élévation.

A est une embouchure par où entre l'air; il y est appelé par une haute cheminée sans feu, qui s'élève à l'extrémité opposée de l'appareil, à la suite d'une chambre destinée à recueillir les dernières poussières.

B est une trémie terminée à sa partie inférieure par une plaque métallique horizontale qui laisse aux sables chargés dans la trémie un passage de 4 à 5 millimètres de largeur sur $0^m,27$ de longueur.

CC est la partie principale de la conduite où les poussières à classer sont entraînées par le courant d'air. Uniformément large de $0^m,30$ environ, cette conduite a, dans le sens vertical, une profondeur qui va

en augmentant de $0^m,35$ à $0^m,70$, sur une longueur totale de 12 mètres.

DD est un récipient divisé en nombreux compartiments verticaux où les poussières se déposent, et d'où on les retire en ouvrant des portes hermétiquement closes qui se trouvent au niveau du sol.

Un manomètre placé sur la chambre E montre que le courant d'air est loin d'être uniforme, troublé sans doute par des remous dus aux résistances qu'il rencontre sur son parcours. Défauts du système.

Ce défaut d'uniformité du courant est d'autant plus fâcheux que la hauteur de chute des poussières est plus faible. Il résulte en effet de là que les poussières ne pouvant se trouver sous l'action du courant que pendant un temps fort court (1/10 à 1/20 de seconde), elles doivent être portées dans un compartiment du récipient ou dans un autre, moins en raison de leurs calibres différents qu'en raison des vitesses variables de l'air : dès lors le but de l'opération est en partie manqué.

Indépendamment de cette imperfection, que la nature du milieu employé rend peut-être inévitable, surtout quand on veut opérer sans machine, le procédé de classement essayé à la Nouvelle-Montagne est forcément sujet à un grave défaut : c'est la nécessité de sécher complétement les matières à traiter. Ce défaut est grave, parce que les matières sur lesquelles on opère sont à la fois fines et généralement pauvres ; de sorte qu'on est obligé d'évaporer beaucoup d'eau pour une très-petite quantité de produit net à obtenir. Il est à craindre que cette dépense ne neutralise en grande partie l'avantage à attendre de l'opération supplémentaire pour laquelle l'appareil de la Nouvelle-Montagne a été construit.

On ne m'a point communiqué de données positives qui permissent une conclusion arrêtée sur le mérite de cet appareil. On s'est contenté de m'assurer que des sables fins dont les cribles à piston, les caisses allemandes et les tables à secousses ne pouvaient pas tirer profit quand on les y traitait directement, devenaient bons à traiter dans ces mêmes appareils après avoir été classés par ventilation. Ce serait quelque chose.

D'autre part, on a mis sous mes yeux le produit d'un classement opéré en ma présence, et, après avoir passé quelques-uns de ces produits à travers des tamis convenables, on m'a laissé examiner le fin et le gros fournis par chacun d'eux. Il m'a paru évident : 1° que la différence de calibre entre les grains extrêmes d'une même classe était encore énorme ; 2° qu'après tamisage, le gros n'était nullement de nature à être rejeté ; 3° qu'un courant d'eau de vitesse et de profondeur convenables aurait donné lieu à un classement plus satisfaisant, surtout si ce courant d'eau avait agi sur la matière desséchée telle qu'on la livre au courant d'air.

Je serais donc surpris que l'appareil de la Nouvelle-Montagne, tel que je l'ai vu établi en 1852, prît rang d'une manière durable parmi les appareils de préparation mécanique, et je maintiens la condamnation que mes recherches m'ont fait prononcer depuis longtemps (1) contre l'air considéré comme milieu à substituer à l'eau pour la purification des minerais.

(1) Mes recherches sur la ventilation datent de 1846.

# RECHERCHES

## SUR DE NOUVELLES MÉTHODES DE CRISTALLISATION PAR LA VOIE SÈCHE, ET SUR LEUR APPLICATION A LA REPRODUCTION DES ESPÈCES MINÉRALES.

Par feu M. EBELMEN (1).

---

### *Production artificielle de divers spinelles et divers silicates.*

Le travail que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie est une suite de mes recherches sur les applications de la nouvelle méthode de cristallisation que je lui ai soumise il y a trois ans environ. J'avais pu reproduire par cette méthode, à l'état de cristaux parfaits, un certain nombre d'espèces minérales dont plusieurs sont des pierres rares et précieuses. Les cristaux obtenus étaient très-nets et présentaient tous les caractères des cristaux naturels; mais le peu de durée de l'évaporation du dissolvant, limitée à celle de la cuisson de la porcelaine dans les fours que j'employais, ne m'avait pas permis d'obtenir ces cristaux dans des dimensions notables.

M. Bapterosses, fabricant de boutons en pâte céramique, et l'un de nos industriels les plus distingués, a bien voulu mettre à ma disposition les moufles dont il se sert pour la cuisson de ses produits dans des fours qui restent au feu pendant plusieurs mois. La température y est un peu moins élevée que dans les fours à

(1) Communiquées à l'Académie des sciences, les 5 mai, 12 mars et 17 novembre 1851.

porcelaine, mais j'ai pu néanmoins y obtenir la plupart des combinaisons que j'avais préparées dans ceux-ci. J'ai pu vérifier ainsi l'exactitude des prévisions que j'avais énoncées à la fin de mon premier mémoire. En opérant sur des quantités plus considérables d'alumine, de magnésie et d'acide borique, et en laissant les capsules de platine qui contenaient le mélange exposées pendant plusieurs jours consécutifs à cette température constante, j'ai pu obtenir des octaèdres de spinelle parfaitement reconnaissables à l'œil nu et dont j'ai pu facilement mesurer les angles. Ils présentent tous la forme de l'octaèdre tronqué sur ses douze arêtes, l'octaèdre émarginé de Haüy. Ils sont parfaitement transparents. Quelques-uns de ces octaèdres réguliers, que je mets sous les yeux de l'Académie, ont jusqu'à 3 et 4 millimètres de côté.

J'ai préparé dans les mêmes conditions une autre espèce de spinelle qui n'avait pas été obtenue dans mon premier travail, le spinelle zincifère ou *gahnite*. Cette espèce n'a pas encore été rencontrée dans la nature à l'état de pureté. Les cristaux naturels renferment toujours de l'oxyde de fer et sont bruns ou verts ; ceux que j'ai préparés sont transparents et incolores. L'addition de l'oxyde de chrome a produit des octaèdres réguliers bien transparents, d'une belle couleur rouge de rubis, et de 2 à 3 millimètres de côté. On y distingue aussi les faces du dodécaèdre rhomboïdal.

La densité du spinelle zincifère pur a été trouvée de 4,58, tandis que celle des cristaux naturels varie entre 4,23 et 4,70. La dureté de l'aluminate de zinc artificiel est la même que celle des cristaux naturels ; il raye facilement le quartz.

En comparant les densités et les poids atomiques des aluminates de zinc et de magnésie, on trouve qu'ils ont

identiquement le même volume atomique, savoir : 25,2 pour le spinelle magnésien, 25,1 pour la gahnite pure.

Je donne ensuite dans mon mémoire la description et l'analyse des chromites de manganèse et de zinc, combinaisons qui cristallisent en octaèdres réguliers et dont la formule $Cr^2O^3$, RO est analogue à celle des spinelles. L'existence de ces deux combinaisons, celle du chromite de magnésie et des diverses variétés de chromite de fer que j'ai décrites dans mon premier mémoire, me paraissent prouver clairement que le fer chromé naturel appartient à la même famille.

J'ai préparé également le ferrite de zinc $Fe^2O^3$, ZnO cristallisé en octaèdres réguliers. Les cristaux sont noirs. très-éclatants; leur poussière est brune. Ils ne s'attaquent pas par les acides très-étendus, mais l'acide chlorhydrique concentré les dissout. Leur densité égale 5,132. Cette combinaison me paraît fournir le type de l'espèce minéralogique connue sous le nom de *franklinite*, espèce dont la formule n'avait pas encore été nettement déterminée.

Je décris ensuite deux nouvelles combinaisons qui me paraissent présenter un assez grand intérêt. Je les désigne sous les noms de *sesquioxyde de chrome magnéso-boraté*, *peroxyde de fer magnéso-boraté*. J'ai été conduit à considérer ces composés comme formés par l'union du sesquioxyde de chrome ou du peroxyde de fer avec un borate de magnésie tribasique $BO^3$, 3MgO, qui me paraît jouer dans ces combinaisons le même rôle que l'eau dans les hydrates, l'alcool dans les alcoolates. On trouvera dans mon mémoire les considérations sur lesquelles je m'appuie. Le borate de magnésie $BO^3$, 3MgO se forme par l'exposition des borates de magnésie avec excès d'acide à une température élevée et longtemps

prolongée. Il formait pour ainsi dire l'eau mère dans laquelle ont cristallisé les deux magnéso-borates analysés.

L'emploi de l'acide borique m'a permis de préparer également à l'état de pureté quelques silicates infusibles à la température de nos fourneaux. J'ai obtenu le silicate de magnésie SiO, MgO en cristaux parfaitement transparents et nettement terminés, dont les angles ont pu être mesurés, ce qui a permis de constater leur identité avec le péridot hyalin de la minéralogie. Le bisilicate de magnésie $(SiO)^2MgO$ a cristallisé également dans mes expériences en longs prismes d'un beau blanc, à l'aspect nacré, qui présentent les angles et les principaux clivages du pyroxène. J'ai pu les isoler et en faire l'analyse. Les combinaisons correspondantes formées par l'oxyde de zinc ont été également obtenues à l'état de cristaux.

J'avais indiqué, dans mon précédent mémoire, la préparation de l'alumine au moyen du borax; mais les cristaux obtenus n'étaient visibles qu'au microscope. L'addition au borax d'une petite quantité de matière qui donne au fondant un peu plus de fixité, comme la silice ou le carbonate de baryte, m'a permis d'obtenir l'alumine en beaux cristaux, d'un très-grand éclat. Ces cristaux affectent la forme d'une double pyramide à six faces profondément tronquée sur ses deux sommets, de façon à produire des tables très-aplaties, tout à fait semblables à celles du fer oligiste des volcans. J'ai constaté, par la mesure des angles des faces latérales sur la base, l'identité de ces cristaux avec le corindon naturel. Leur densité égale 3,928; leur dureté est assez grande pour qu'ils rayent la topaze avec facilité.

J'ai également employé les phosphates acides comme dissolvants, et j'ai pu obtenir ainsi l'acide tantalique,

l'acide niobique, l'acide titanique à l'état de cristaux. L'acide titanique cristallise dans le sel de phosphore en longues aiguilles semblables au titane aciculaire; la densité de ces cristaux égale 4,285, nombre identique à celui qui représente la densité du rutile.

Tous les cristaux que j'ai obtenus ont été examinés au point de vue de leur action sur la lumière, toutes les fois que leur nature l'a permis. Tous ceux des cristaux transparents qui n'appartiennent pas au système régulier agissent sur la lumière polarisée, et j'ai pu confirmer ainsi par ce caractère, et grâce au concours de M. Biot, les conclusions que j'avais tirées de la forme extérieure des cristaux.

Je termine mon mémoire par quelques considérations sur l'utilité que peuvent avoir, pour la classification minéralogique, des recherches de synthèse analogues à celles dont je me suis occupé. Il y a lieu d'espérer que l'on obtiendra dans un grand nombre de cas des espèces chimiques bien pures, autour desquelles on groupera les minéraux naturels.

---

### *Production artificielle du péridot, de la pérowskite, de la périklase.*

J'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie, dans deux mémoires précédents, l'exposé et plusieurs applications d'une nouvelle méthode de cristallisation par la voie sèche, qui m'a permis de reproduire, à l'état de cristaux parfaits, plusieurs espèces minérales infusibles à la température de nos fourneaux. J'avais employé, pour en dissoudre les éléments, divers fondants volatils à de hautes températures, tels que l'acide borique, le borax, les phosphates acides, alcalins. J'ai pensé qu'on pourrait obtenir de nouvelles séries de

composés en se servant, au lieu de fondants acides, de fondants alcalins, tels que les carbonates de potasse et de soude, qu'on emploie si souvent, dans les analyses minérales, pour dissoudre par la voie sèche les substances inattaquables par les acides. Ces corps présentent, comme l'acide borique, cette double propriété, d'être liquides à des températures qu'on obtient aisément dans nos fourneaux, de dissoudre un grand nombre d'oxydes métalliques, et de se volatiliser en entier dans des vases ouverts, à des températures un peu supérieures à la température de leur fusion. Les premières expériences que j'ai faites dans cette direction ayant très-bien réussi, je viens aujourd'hui communiquer leurs résultats à l'Académie.

Quand on expose à une haute température, dans une capsule de platine, un mélange de silice et de magnésie dans les proportions qui constituent le bisilicate avec du carbonate de potasse, on obtient, après quelques jours, une masse vitreuse, parfaitement liquide, au fond de laquelle se développent des cristaux très-diaphanes et incolores. On les isole aisément de la masse fondue, en traitant celle-ci par les acides faibles et la potasse liquide qui dissolvent le verre sans attaquer les cristaux. On reconnaît aisément ceux-ci pour du péridot. J'ai pu les déterminer et en mesurer les angles. La face $g^1$ est très-développée, les autres facettes que j'y ai reconnues sont les faces $e^{1/2}$, $e^1$, $g^3$, $h^1$, $a^1$ ; les angles mesurés diffèrent à peine de quelques minutes de ceux qui ont été obtenus avec les cristaux naturels.

On voit que dans cette réaction la moitié de la silice se sépare pour former avec la magnésie une combinaison infusible ; la matière vitreuse attaquable par les acides renferme encore de la magnésie ; une grande partie de la potasse a été volatilisée.

On peut préparer par des moyens analogues le titanate de chaux TiO, CaO cristallisé en cubes légèrement tronqués sur les arêtes; la combinaison se sépare lentement, par l'action des acides faibles, de la matière vitreuse au sein de laquelle elle s'est formée; sa densité égale 4,10; elle est identique à l'espèce minérale à laquelle M. G. Rose a donné le nom de *pérowskite*, qu'on a trouvée d'abord dans l'Oural, et récemment dans les terrains volcaniques du Kaiserstbul.

Le silicate de glucine, fondu avec un excès de carbonate alcalin, donne une masse demi-vitreuse de laquelle on isole des cristaux microscopiques par l'action des acides; les cristaux sont de la glucine tout à fait pure (densité 3,02), inattaquable par les acides, sauf par l'acide sulfurique concentré et chaud.

J'ai obtenu également dans ces expériences divers produits accessoires, du platine cristallisé en octaèdres ou en cubo-octaèdres très-brillants.

Les résultats qui viennent d'être décrits diffèrent bien nettement des phénomènes connus de la dévitrification. Celle-ci s'opère, comme on sait, dans une masse de verre un peu ramollie, mais non fondue, et les cristaux mal définis qu'on a obtenus diffèrent peu, par leur composition chimique, de la masse vitreuse qui les enveloppe. Ici, au contraire, les cristaux se sont formés au sein d'une masse de verre parfaitement liquide, et leurs propriétés, leur composition chimique sont complétement différentes de celles de la partie vitreuse.

Je vais multiplier et varier ces expériences, bien convaincu qu'elles conduiront à des résultats dignes d'intérêt.

Je dois indiquer, en terminant, un autre mode de cristallisation qui a aussi, comme la méthode par éva-

poration, son analogue dans les opérations de la voie humide. On peut espérer que des oxydes métalliques simples ou combinés les uns avec les autres se sépareront, à l'état cristallin, de masses fondues quand on fera réagir sur celles-ci des bases plus énergiques que celles primitivement dissoutes. C'est ainsi qu'en faisant réagir de la chaux en morceaux sur du borate de magnésie, on obtient de la *magnésie* sous la forme de cristaux diaphanes, dont quelques-uns sont aisément déterminables à la loupe, et qu'on isole de la masse dans laquelle ils sont disséminés par l'action des acides faibles qui ne les dissout pas. Ces cristaux paraissent identiques, par leur forme et leur composition, avec la magnésie native déouverte, il y a quelques années, dans les blocs de la *somma*, espèce à laquelle M. Scacchi a donné le nom de *périklasè*.

Je borne là ces premières indications sur ces réactions nouvelles; j'aurai l'honneur de soumettre bientôt à l'Académie un mémoire plus détaillé sur ce sujet, et de faire ressortir les conséquences qu'il est permis de tirer de ces expériences pour expliquer la formation d'un grand nombre de minéraux dans les roches alcalifères.

---

### *Sur la cristallisation de la cymophane.*

J'ai présenté à l'Académie, en 1847, la description de la méthode qui m'a permis de préparer la cymophane ou aluminate de glucine à l'état de cristaux. Ces cristaux étaient microscopiques. Leur densité, leur composition chimique s'accordaient avec la forme, telle qu'on pouvait la déterminer sous le microscope, pour les identifier avec les cristaux naturels.

Les cristaux non roulés de cymophane sont fort rares

dans les collections de minéralogie. J'ai pensé qu'il y aurait un véritable intérêt, pour les minéralogistes, à préparer cette espèce en cristaux faciles à déterminer et à mesurer. J'y suis aisément arrivé en prolongeant la durée de l'évaporation et en modifiant la composition du fondant, de façon à l'obtenir pour liquide.

Les cristaux que j'ai obtenus ont jusqu'à 5 et 6 millimètres de longueur. Tantôt ils sont simples et présentent les faces *mm* du prisme primitif, la face $g'$ très-développée, la base P et la modification $e'$ sur l'arête d'intersection de la face $g'$ avec la base. Les angles que j'ai mesurés sont identiques à ceux obtenus par M. Descloizeaux sur les cristaux de la collection de M. de Drée.

La densité des cristaux artificiels est de 3,759; celle de la cymophane naturelle est comprise entre 3,70 et 3,80.

On trouve, parmi les cristaux artificiels de cymophane, un grand nombre de cristaux *maclés;* les macles sont identiques, soit à celles des cristaux du Brésil et de Haddam, soit à celles des cristaux de l'Oural. Les cristaux artificiels présentent donc, non-seulement la même forme primitive et les mêmes angles que les cristaux naturels, mais encore leurs *faces* ordinaires et les principaux accidents de la cristallisation de ceux-ci.

L'addition, au fondant, d'un centième de bichromate de potasse, a donné des cymophanes colorées en vert, à la lumière du jour, comme les cristaux de l'Oural. A la lumière d'une lampe, cette couleur passe au violet.

---

***Production artificielle du rutile, de la périklase, du fer oxydulé, des tantalites, du pyrochlore, de la glucine, des protoxydes de nickel, de cobalt, et de manganèse cristallisés.***

J'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie, dans deux mémoires précédents, l'exposé d'une nouvelle méthode de cristallisation par la voie sèche, qui m'a permis de reproduire, à l'état de cristaux parfaits, plusieurs substances identiques à des minéraux dont un certain nombre sont des pierres rares et précieuses. Les dissolvants que j'avais employés dans ces expériences étaient de nature acide : c'étaient l'acide borique, le borax, les phosphates acides alcalins. Il m'a paru que cette méthode pourrait recevoir une extension nouvelle et conduire à d'autres applications par l'emploi de dissolvants de nature basique, tels que les alcalis. Ces corps présentent, comme on sait, cette double propriété, d'être liquides à des températures qu'on atteint aisément dans nos fourneaux, et de se volatiliser en entier dans des vases ouverts à ces mêmes températures. Toutes les expériences faites dans cette direction nouvelle ont consisté à dissoudre les éléments du corps qu'il s'agissait de faire cristalliser dans un silicate chargé d'un grand excès d'alcali, et à soumettre le tout à l'action d'une haute température comme celle du four à porcelaine ou du four à boutons de M. Bapterosses. La présence de la silice était nécessaire pour donner au fondant une certaine fixité qui permît aux cristaux de se développer avec la netteté désirable.

Ce procédé, dont j'ai indiqué le principe à l'Académie dans la séance du 12 mai dernier, m'a permis de préparer diverses combinaisons cristallines, parmi les-

quelles je citerai le péridot, la pérowskite ou titanate de chaux, le titane rutile et la glucine. J'ai donné, dans ma précédente communication, sur les deux premiers de ces corps, les indications cristallographiques et chimiques qui me paraissent devoir les faire considérer comme les types des espèces minéralogiques auxquelles ils se rapportent.

Les cristaux de rutile que j'ai obtenus sont transparents, d'un beau rouge. Leur cristallisation est la même qne celle du rutile naturel; leur densité égale 4,26.

J'ai obtenu la glucine en cristaux assez nets et assez volumineux pour être mesurés au goniomètre. Elle se présente sous la forme de prismes à six faces, surmontés d'une pyramide à six faces placée sur les arêtes de la base. L'angle du pointement sur les faces latérales du prisme est de 150° 12′.

On voit immédiatement que le système cristallin de la glucine est le même que celui de l'alumine. De plus, les deux bases sont isomorphes. Les cristaux de corindon présentent, en effet, très-fréquemment, les faces d'un dodécaèdre isocèle dont la notation est $e^2$ et dont l'inclinaison sur les faces latérales du prisme hexagonal est de 131° 10′.

La densité de la glucine cristallisée est de 3.058. Son volume atomique, calculé d'après la formule $Gl^2O^3$, serait de 155. Celui de l'alumine est très-voisin et égal à 160.

La glucine cristallisée a une dureté comparable à celle du corindon. Elle raye très-facilement le quartz et nettement l'émeraude.

Elle est inattaquable par les acides, sauf par l'acide sulfurique concentré et bouillant qui en dissout un peu. Elle s'attaque aisément par le bisulfate de potasse.

L'isomorphisme de la glucine avec l'alumine me pa-

rait de nature à lever les doutes qui existaient sur la véritable formule de cette terre.

Dans une seconde partie de mon mémoire, j'indique le principe et quelques applications d'une autre méthode de cristallisation par voie sèche : la cristallisation *par précipitation*. On sait qu'on obtient par voie humide un grand nombre d'oxydes métalliques en les précipitant d'une dissolution saline par une base plus énergique. Les oxydes se précipitent souvent en combinaison avec le précipitant ou avec d'autres oxydes qui se trouvaient en même temps en dissolution. J'ai pensé qu'un procédé analogue pourrait être mis en pratique dans les opérations de la voie sèche, en substituant aux solutions aqueuses des silicates ou des borates en fusion. Les premiers résultats obtenus dans cette direction nouvelle m'ont paru assez intéressants pour pouvoir être communiqués à l'Académie.

En faisant agir la chaux en gros fragments sur du borate de magnésie, on précipite la magnésie sous forme de cristaux diaphanes qui sont quelquefois assez volumineux pour être distingués à l'œil nu et qui présentent ordinairement réunies les faces du cube et celles de l'octaèdre régulier. Leur densité égale 3.636. Leur dureté est presque égale à celle du feldspath. Ils ne s'attaquent pas par les acides très-étendus. En les attaquant par l'acide sulfurique, j'ai constaté qu'ils étaient formés par de la magnésie à l'état de pureté complète.

On sait que la magnésie native a été rencontrée récemment parmi les minéraux de Somma, par M. Scacchi qui lui a donné le nom de *périklase*. Ses propriétés sont bien comparables à celles de la magnésie cristallisée artificiellement. Elle cristallise en octaèdres réguliers et présente trois clivages à angle droit. Sa densité égale

3,75. La périklase est de couleur verte. Elle contient, d'après les analyses de MM. Scacchi et Damour, 6 à 8 pour 100 de protoxyde de fer, qui lui donnent sa couleur et qui produisent sans doute la légère augmentation que présente sa densité sur celle de la magnésie cristallisée.

Les propriétés de la magnésie cristallisée lèvent tous les doutes qu'on pouvait avoir encore sur la véritable constitution chimique de la périklase, que quelques minéralogistes considéraient comme une combinaison définie d'oxyde de fer et de magnésie.

Le procédé qui donne la magnésie peut être également appliqué à la cristallisation des protoxydes de nickel, de cobalt, de manganèse.

Le protoxyde de nickel se présente sous forme de cristaux cubo-octaèdres de couleur verte, presque inattaquables par les acides. Leur densité égale 6,80. Le volume atomique de l'oxyde de nickel est identiquement le même que celui de la magnésie.

Le borate de nickel est complétement décomposé par la chaux par voie sèche. Les acides mis en contact à froid avec la matière, dissolvent du borate de chaux sans trace de nickel.

Les silicates de fer peuvent être complétement décomposés par la chaux. Les acides étendus dissolvent du silicate de chaux, et laissent un sable cristallin dont la composition est celle du fer oxydulé $Fe^2O^3$; $FeO$.

Si l'on fait agir la chaux sur un silicate d'oxyde de titane et d'alcali entièrement vitreux, la matière devient cristalline, et l'action des acides en isole un sable cristallin, identique par la forme, par la densité, par la composition, avec le titanate de chaux $TiO^2$, $CaO$, ou *pérowskite*.

La même réaction, appliquée à une combinaison vitreuse de silice, d'acide tantalique, d'oxyde de fer et de potasse, a permis d'obtenir des combinaisons cristallines formées de tantalate de fer et de tantalate de chaux analogues aux minéraux connus sous les noms de *tantalites*, de *pyrochlore*.

Je me contente d'indiquer ces premières applications de la méthode de précipitation par voie sèche; elles doivent être considérées comme un point de départ pour de nouvelles expériences.

Je termine mon mémoire en signalant l'intérêt que présentent, selon moi, les phénomènes de la précipitation par voie sèche au point de vue géologique. Les observations géologiques établissent, en effet, que les masses de matières éruptives, qui ont traversé à diverses époques les terrains stratifiés, ont exercé sur ceux-ci une action des plus énergiques qu'on ne peut pas expliquer par la chaleur seule, et dont on a exprimé l'effet par le mot de *métamorphisme*. On a remarqué de plus que la plupart des espèces minérales de formation ignée appartient à ces zones de contact entre les roches éruptives et les terrains dans lesquels elles se sont insinuées. Des gîtes métallifères importants, et qui n'affectent pas la forme des filons ordinaires, existent souvent le long de ces lignes de jonction. Tel est le mode de gisement le plus fréquent du fer oxydulé.

Si des roches calcaires se sont trouvées, pendant un long espace de temps, en contact avec des roches silicatées à l'état de fusion, il a dû se produire, outre la fusion et la cristallisation du carbonate de chaux, des réactions chimiques entièrement comparables à celles signalées dans ce mémoire. Les dégagements si abondants d'acide carbonique qui accompagnent partout l'activité volcanique, semblent indiquer la réaction ré-

ciproque de roches silicatées en fusion sur des matériaux calcaires, et par conséquent la continuation des phénomènes métamorphiques à l'époque actuelle. La présence du fer oxydulé et du fer titané dans les basaltes et dans les roches silicatées voisines de l'état de saturation, me paraît pouvoir être attribuée à des causes analogues. Les réactions de la *précipitation par voie sèche* devront être prises en considération pour expliquer la formation d'un grand nombre de gîtes minéraux et de minéraux cristallisés, ainsi que les relations de contact existant entre les roches sédimentaires et les roches ignées qui les ont traversées.

---

# RECHERCHES

## SUR LES ALTÉRATIONS DES ROCHES STRATIFIÉES SOUS L'INFLUENCE DES AGENTS ATMOSPHÉRIQUES ET DES EAUX D'INFILTRATION;

Par feu M. EBELMEN (1).

---

Ce mémoire fait suite à ceux que j'ai présentés, en 1845 et en 1848, à l'Académie, sur la décomposition des silicates. En comparant la composition de la roche à l'état naturel à celle de la roche altérée, j'avais pu, par de simples recherches de laboratoire, déterminer la nature et la proportion des éléments qui disparaissent par le fait de la décomposition, ainsi que les causes qui avaient pu la produire. Il m'a paru qu'on pouvait établir ainsi des relations d'une grande netteté entre les roches d'origine ignée et celles qui, par leur stratification, par les débris organiques qu'elles renferment, accusent évidemment une origine aqueuse. J'ai fait voir enfin l'importance de ces phénomènes de décomposition au point de vue de l'influence qu'ils exercent sur la composition de l'atmosphère terrestre.

Les faits rassemblés dans ce mémoire s'appliquent tous aux terrains stratifiés. Les roches qui les constituent se désagrégent et se détruisent sous l'influence des agents atmosphériques de deux manières différentes, par voie mécanique ou par voie chimique. Les faits de désagrégation ou de transport par voie mécanique, étudiés avec soin par les géologues modernes, n'entrent pas dans le cadre de ce travail. Mais il m'a paru qu'on

---

(1) Communiquées à l'Académie des sciences, le 22 décembre 1851.

n'avait pas attribué jusqu'ici à l'action chimique exercée par l'atmosphère sur les roches toute l'importance qu'elle mérite. J'espère montrer, par l'exposé de quelques faits, l'intérêt que présente pour la géologie l'étude des terrains entreprise dans cette nouvelle direction.

Les actions chimiques dont nous nous occupons produisent deux résultats bien distincts. Tantôt la roche se dissout, d'une manière plus ou moins complète, par l'effet prolongé des eaux d'infiltration ; tantôt il y a simplement modification produite dans l'aspect pétrographique de la roche, par la décomposition d'un des minéraux qu'elle renferme.

J'ai étudié les phénomènes de dissolution sur deux natures de terrains : les terrains gypseux et les terrains calcaires.

Les terrains gypseux appartiennent, comme on sait, à un grand nombre de formations différentes. Les conditions de gisement du gypse sont toutes spéciales, et il m'a paru qu'on pouvait, dans un grand nombre de cas, expliquer les apparences que présentent les amas de ce minéral par l'action prolongée des eaux d'infiltration.

L'étude des gisements gypseux du terrain keupérien du département de la Haute-Saône m'a conduit à des résultats d'une grande netteté. Ce terrain renferme à sa base plusieurs minéraux utiles : de la houille, du gypse et du sel gemme. Aussi a-t-il été exploré par de nombreux sondages et par des travaux souterrains qui ont permis d'en reconnaître avec précision la constitution géologique. La couche de houille renfermée dans ce terrain est toujours supérieure aux masses gypseuses. Quand on l'exploite dans la profondeur, à 30 ou 40 mètres du sol, la houille est cimentée par du gypse, et

la couche n'est séparée du gypse solide que par quelques décimètres d'argile. Exploitée au contraire dans les parties supérieures, la houille est tendre, le ciment gypseux qui unissait ses fragments a disparu, et si l'on cherche le gypse solide sous la houille, on ne le trouve qu'à la profondeur de 30 ou 40 mètres. La couche de houille sert ici de point de repère pour prouver avec évidence que les masses de gypse argileux si puissantes qui se trouvent entre la houille et le muschelkalk ont été dissoutes sur leurs affleurements jusqu'à 30 et 40 mètres de profondeur au-dessous du sol par l'action prolongée des eaux superficielles. Il reste à leur place un terrain marneux sans consistance qui représente précisément les résidus de la dissolution par l'eau des couches gypseuses, et qui recouvre immédiatement le muschelkalk toutes les fois que la ligne de jonction des deux terrains se fait sur des plateaux peu accidentés. Quand, au contraire, le terrain keupérien forme, soit une butte isolée, soit un escarpement à pente rapide, on voit ordinairement affleurer le gypse à leur base. Il se présente alors en blocs irréguliers désunis, autour desquels la stratification des couches marneuses est singulièrement tourmentée. J'ai la conviction qu'on arrivera à expliquer d'une manière satisfaisante ces apparences de gisement en tenant compte des effets produits par les eaux d'infiltration, effets dont les circonstances signalées plus haut démontrent toute l'importance.

J'ai appliqué dans mon mémoire des considérations analogues à l'explication de quelques circonstances du gisement des gypses du terrain tertiaire parisien. La disposition lenticulaire, signalée par M. d'Archiac dans les amas de gypse qu'on exploite, par travaux souterrains, dans les collines des bords de la Marne, s'expli-

que aisément par des causes semblables. Le maximum d'épaisseur de ces amas se trouve au-dessous du sommet des collines, c'est-à-dire dans les points où ils ont été le mieux protégés contre l'action des eaux d'infiltration. Ils s'amincissent et disparaissent avant d'atteindre le talus des collines dans lesquelles on les exploite.

Les faits que je viens de signaler me paraissent établir toute l'importance des phénomènes de dissolution, pour expliquer les apparences que présentent les amas gypseux dans tous les points où ils sont voisins de la surface.

J'applique ensuite, dans mon travail, des considérations analogues à l'explication des apparences que présentent les couches calcaires voisines de la surface du sol. Les couches placées sous la terre végétale présentent partout des traces d'érosion, et souvent des contournements, des inflexions dont on ne peut se rendre compte que par l'influence dissolvante des eaux d'infiltration. Les effets produits dépendent de la nature et surtout de la dureté des calcaires. Les apparences qui en résultent sont toutes différentes quand on passe des plateaux jurassiques sur les plateaux crayeux et de ceux-ci sur les plateaux du calcaire grossier parisien.

Ces phénomènes de dissolution progressive des couches calcaires se lient, comme ceux de la décomposition des roches d'origine ignée, à la formation de la terre végétale, toujours très-mince quand elle repose sur des plateaux constitués par des couches calcaires très-pures qui se dissolvent sans laisser de résidu.

J'indique, dans la dernière partie de mon mémoire, quelques faits qui se rapportent à des changements produits dans l'aspect pétrographique des roches, par l'influence des agents atmosphériques. Je me contenterai de citer le fait suivant :

Le terrain jurrassique présente, comme on sait, une très-grande épaisseur de couches calcaires qui présentent ordinairement une coloration bleue, partielle ou totale. Quand la coloration n'est que partielle on reconnaît que les parties bleues forment des amandes dont la surface est toujours éloignée des plans de stratification ou des fissures par lesquelles les eaux d'infiltration pénètrent dans les couches. La partie jaunâtre de la roche, qui en forme toujours l'enveloppe extérieure, paraît avoir été produite par l'altération de la partie bleue. La couleur bleue aurait été, dans l'origine, répartie dans toute la masse, et l'on remarque en effet que les couches les plus éloignées du sol sont celles où la couleur bleue s'est le mieux conservée. J'ai trouvé que le calcaire bleu de l'oolite inférieure (cornbrash) contenant environ 0,002 de bisulfure de fer, tandis que le calcaire jaunâtre qui forme l'enveloppe n'en renferme pas. La coloration bleue paraît due à cette petite proportion de bisulfure de fer disséminée dans toute la masse, et qui disparaît lentement sous l'influence oxydante des eaux d'infiltration.

Cette formation de la pyrite de fer *à l'état bleu* présente de l'intérêt à un tout autre point de vue. J'ai établi en effet, dans un précédent travail, que la formation de la pyrite de fer était une des réactions qui restituent à l'atmosphère de l'oxygène emprunté aux éléments minéraux de la croûte solide du globe. Ce phénomène paraît s'être produit pendant toute la durée de longues périodes géologiques, avec une continuité qu'on était loin de soupçonner et qui témoigne de toute son importance. Tout porte à croire qu'il se continue encore à l'époque actuelle, et qu'il contribue à maintenir dans ses limites actuelles la composition de l'air atmosphérique.

---

# NOTE

## SUR UN MOYEN DE LEVER SANS BOUSSOLE LA DIRECTION DES COUCHES DES TERRAINS.

Par M. MEISSONNIER, ingénieur des mines.

---

Les amateurs de géologie et les personnes qui ont un intérêt quelconque à faire sur le terrain des observations de direction qui ne comportent pas une grande précision, se servent habituellement pour ce genre d'opérations d'une boussole de poche de la grandeur d'une montre ou à peu près. La direction à relever est déterminée par l'angle qu'elle paraît former avec le méridien magnétique, angle qu'on lit sur le limbe de la boussole, préalablement orientée, et dont on a soin de prendre note ; quelques géologues ont ajouté à leur boussole une alidade au moyen de laquelle l'observation comporte plus d'exactitude. Mais il en est peu qui se servent en campagne d'un véritable instrument de précision et s'attachent à donner à leurs observations un plus grand degré d'approximation que ne l'exige la destination spéciale des résultats.

Cet emploi de la boussole est en effet bien suffisant, la plupart du temps, pour fournir les éléments d'une direction de filon, de couche ou de crête, direction que l'on déduira d'un assez grand nombre d'observations par une moyenne ; mais il est un cas où la boussole fait complétement défaut, c'est quand il s'agit d'observations à faire, de directions à relever au milieu de formations exerçant sur l'aiguille aimantée une action propre, comme font certaines roches et les masses de minerai de

fer magnétique renfermées dans beaucoup de serpentines.

Souvent alors sur un espace assez étendu, on ne peut aucunement compter sur les indications de la boussole pour le relèvement des directions; et les accidents du sol, la disposition des masses peuvent être tels, qu'il serait très-difficile, ou tout au moins fort long, de se transporter sur un point propice pour faire une observation de quelque valeur. Comme d'ailleurs on ne peut, dans une région à roches magnétiques, avoir aucune certitude de la non-déviation de l'aiguille en tel ou tel point, la boussole devrait prendre un rôle tout différent de son rôle habituel, et servir à reconnaître l'influence et le mode d'action sur l'aiguille aimantée des masses minérales au milieu ou dans le voisinage desquelles on la promène. On comprend qu'indépendamment de leur intérêt scientifique, des observations du dernier genre suffisamment multipliées, pourraient fournir, sur la consistance d'une masse minérale, des données précises dont il serait, dans certains cas, possible de tirer des indications utiles pour l'exploitation de cette masse.

Dans le département de la Corse, où les roches serpentineuses sont fréquemment magnétiques et renferment des gisements considérables de fer oxydulé, nous avons été dans l'obligation de nous passer de la boussole pour le relèvement des directions et d'imaginer, pour y suppléer, une méthode d'observation non moins rapide, d'une exactitude à peu près égale, et dont l'emploi ne comporte aucune difficulté. Depuis longtemps nous nous servons pour cet objet d'une simple montre de poche; ses indications observées, comme il sera dit ci-après, et combinées avec certaines données géographiques et astronomiques fournissent les éléments d'une épure très-facile des directions à relever.

Si, au lieu de rechercher la représentation graphique de ces directions, on voulait obtenir la valeur des angles que forme chacune d'elles, avec le méridien magnétique, on la déduirait de la résolution d'un triangle sphérique.

Cette méthode est fondée sur la connaissance de l'angle que forme avec la direction à relever l'ombre du fil à plomb, et sur celle de l'heure de l'observation de la latitude du point, ainsi que la déclinaison du soleil.

De ces quatre éléments, les trois derniers déterminent la direction de l'ombre du fil à plomb et permettent, soit de l'assigner sur un plan où la méridienne serait marquée, soit de calculer trigonométriquement la valeur de l'angle compris entre l'ombre et la méridienne. En rapprochant de cet angle ainsi figuré ou calculé, le premier des quatre éléments, on pourra rapporter sur le plan, ou assigner en valeur numérique, l'angle formé par la direction observée avec le méridien géographique.

La déclinaison du soleil correspondante au jour de l'observation sera cherchée dans les ouvrages spéciaux, la latitude du lieu sera fournie par la carte du pays, que nous supposons d'ailleurs assez détaillée pour permettre de l'assigner avec une suffisante exactitude; l'heure et l'angle seront fournis par l'observation.

L'emploi d'une montre ordinaire permet d'obtenir l'une et l'autre de ces données avec l'approximation d'un sixième de minute environ pour la première, et partant d'un degré pour la seconde, en opérant sans plus de soin que l'on n'en prend d'ordinaire dans les observations au moyen de la boussole du géologue. En s'aidant d'un support placé à l'extrémité d'un bâton fixé en terre, comme le font quelques géologues pour leur boussole, on peut, en opérant avec un crin ou un

fil à plomb assez ténu, et avec quelque soin obtenir un degré d'approximation plus grand. Pour faire l'observation à la main, il convient de se placer en face du point qui, de concert avec la position de l'observateur, détermine la direction à relever. Suivant que ce point est à l'occident ou à l'orient du soleil, on tient la montre de la main droite ou de la main gauche, et de la main libre on tient le fil à plomb. On oriente alors la montre tenue horizontalement autant que possible, de façon qu'elle satisfasse à cette double condition : 1° que son centre se trouve exactement dans la direction du point à viser ; 2° que le diamètre principal du cadran, de six heures à midi, soit dans la direction du soleil. A cet effet, on se sert du fil à plomb que l'on promène le long de la circonférence de la montre, en imprimant à celle-ci des mouvements tels que son centre paraisse couvert par le fil à plomb, amené dans la direction à relever, et que l'ombre de ce même fil, amenée sur la division de six heures, couvre le diamètre principal. Une série de tâtonnements fort courts permet d'arriver, en moins d'nne minute, à cette exacte orientation de la montre, et si l'on a eu soin de remarquer pendant cette recherche en quelle région du cadran oscillait le passage du fil à plomb dans la première condition, un dernier coup d'œil suffira pour déterminer, avec l'approximation que l'on peut désirer, le point du cadran que couvre le fil dans la direction à relever. La distance de ce point au zéro de la montre donne, en divisions du cadran, l'angle de cette direction avec l'ombre. On note tout à la fois cette espèce d'heure marquée par le fil à plomb, et l'heure de temps indiquée par la montre.

Ce mode d'observation n'offre aucune difficulté, l'usage qu'on y fait du fil à plomb par la détermination

de la direction à observer peut être recommandé même dans l'usage de la boussole.

Quant à l'exécution de l'épure au moyen de laquelle on doit obtenir l'angle de l'ombre du fil à plomb avec la méridienne, elle est aussi des plus faciles; elle ne demande qu'une légère habitude de l'équerre et du compas; dégagée des considérations théoriques sur lesquelles elle est fondée, et des lignes auxiliaires qui peuvent servir à la justifier, la construction se réduit à un petit nombre de lignes que les personnes tout à fait étrangères aux spéculations de la géométrie descriptive peuvent exécuter sans peine.

La *fig.* 7, Pl. III, offre un type de cette épure. MM y représente la méridienne, EQ, E*q* l'équateur incliné sur MM d'un angle égal au complément de la latitude de l'observateur; OS est une ligne dont l'inclinaison sur E*q*E*q* est égale à la déclinaison du soleil le jour de l'observation. Sur une circonférence ayant son centre en O et un rayon arbitaire, on compte à partir du diamètre MM un arc correspondant à l'heure de l'observation.

On joint au centre O l'extrémité de cet arc qui, sur la figure, répond à deux heures et demie. On détermine le point *a* par l'intersection de deux lignes dont une parallèle et l'autre perpendiculaire à MM, la première ayant son origine à l'extrémité du rayon O2 1/2; la seconde en un point K, dont la distance au centre est égale à la projection *oe* du demi-diamètre OE*q*. A partir du point *a*, on porte sur la ligne horizontale une longueur égale à la projection *se* de la portion de tangente perpendiculaire au demi-diamètre OE*q*, comprise entre le point de contact et la ligne OS. L'extrémité *h* de cette longueur détermine la direction de l'ombre à deux heures et demie, le sens de cette direction est OH.

La ligne *o*H ainsi trouvée par une construction bien

facile à reproduire dans tous les cas, il suffira de prendre à droite et à gauche du point H à son tour considéré comme origine des heures, l'angle observé sur la montre; en joignant l'extrémité de cet arc au centre, on aura sur le papier la direction cherchée.

Pour établir la légitimité de cette construction, il faut considérer que la ligne *oh* peut être regardée comme la projection sur le plan horizontal, d'une ligne ou rayon vecteur déterminé par le centre *o*, lieu de l'observateur, et par la position du soleil à $2^h$ 1/2. Or la projection horizontale de cette ligne est en même temps la trace du plan vertical qui la contient, et c'est précisément cette trace observée au moyen du fil à plomb que l'on a intérêt de trouver ici. Le point *o*, appartenant d'ailleurs à cette projection, il suffit d'en assigner un second point *h*, pour la déterminer complétement. La recherche de ce second point est fondée sur cette circonstance que la ligne ou rayon vecteur en question est l'intersection du plan vertical et du plan horaire, et qu'une droite tirée dans celui-ci d'un point quelconque de sa trace sur le plan équatorial, à un point quelconque de l'axe polaire, doit rencontrer le rayon vecteur : le point d'intersection sera le second point cherché. La ligne auxiliaire étant, pour plus de facilité, prise parallèle à l'axe polaire, et son origine sur l'équateur, en une circonférence de rayon arbitraire, on trouve la projection de cette origine, à l'aide d'un rabattement qui nous la fournit en *aa'* et les projections de la ligne auxiliaire sont *ah*, *a'h'*, parallèles aux projections de l'axe polaire. Le point *h'*, où la projection sur le plan vertical rencontre la parallèle à l'équateur mené par le point S, point d'intersection de la tangente avec le rayon vecteur rabattu sur le plan vertical, est évidemment la projection verticale du point

cherché, et on en déduit la projection horizontale *h*. Celle-ci achève de déterminer la direction de l'ombre sur le plan horizontal à 2 1/2.

Remarquons ici :

1° Que le point *a*, projection horizontale de l'origine de la parallèle à l'axe polaire appartient à une ellipse dont les demi-axes seraient *o*M et *oe*, et nous en déduirons que pour trouver *a* il suffira d'opérer comme on fait pour la construction d'un point d'ellipse, connaissant les demi-axes.

2° Que le point *h* appartient à une ellipse égale à la précédente, semblablement placée et ayant son centre en un point *o'* tel que $oo' = es$; il en résulte que la position des points tels que *h* se déduit de la position des points *a* correspondant par la translation vers la gauche d'une quantité invariable *se*; c'est dans cette invariabilité de direction et de grandeur que réside l'avantage du choix de notre ligne auxiliaire que nous prenons parallèle à l'axe polaire, et non point oblique comme on pourrait d'ailleurs le faire sans plus de difficulté théorique. La règle pratique, la construction réduite, sont suffisamment justifiées par ces considérations.

Si au lieu de la représentation graphique de la direction observée, on voulait avoir la valeur numérique de l'angle qu'elle forme avec le numéridien, il faudrait calculer d'abord l'angle de l'ombre du fil à plomb au lieu de le construire. La valeur de cet angle dépend de la solution d'un triangle sphérique ayant pour sommets le pôle, le zénith et le soleil, et dans lequel on connaît : 1° l'angle au pôle donné par l'heure de l'observation ; 2° les côtés qui le comprennent et qui sont l'un le complément de la latitude, l'autre le complément de la déclinaison du soleil. Au moyen de ces éléments, on peut calculer l'angle au zénith qui donne l'inclinaison du

plan azimutal sur le plan méridien et dont le supplément mesure l'inclinaison de l'ombre horizontale du fil à plomb sur la méridienne. C'est cet angle supplémentaire pris dans le sens convenable auquel il conviendra d'ajouter ou dont il faudra retrancher l'angle observé pour avoir l'angle formé par la direction considérée avec le méridien géographique. Pour la résolution du triangle sphérique PzS, *fig.* 9, on peut se servir soit de la formule

$$\cot A = \frac{\cot a \sin b - \cos c \cos b}{\sin c}$$

ou des analogies de Néper :

$$\tang \frac{A-B}{2} = \cot \tfrac{1}{2} c \frac{\sin \frac{1}{2}(a-b)}{\sin \frac{1}{2}(a+b)},$$

$$\tang \frac{A+B}{2} = \cot \tfrac{1}{2} c \frac{\cos \frac{1}{2}(a-b)}{\cos \frac{1}{2}(a+b)}.$$

L'emploi de ces dernières est un peu plus commode ; en y faisant les substitutions convenables et désignant par $z$ l'angle supplémentaire cherché, par $h\,l\,d$, l'heure de l'observation, la latitude du lieu, et la déclinaison du soleil, on obtient :

$$\text{cotang} \frac{z+S}{2} = \cot \frac{h}{2} \frac{\sin \frac{1}{2}(l-d)}{\cos \frac{1}{2}(l+d)},$$

$$\tang \frac{z-S}{2} = \cot \frac{h}{2} \frac{\cos \frac{1}{2}(l-d)}{\sin \frac{1}{2}(l+d)}.$$

Le calcul de ces formules exige la recherche de 7 logarithmes de lignes trigonométriques qui se rapportent à 5 angles seulement.

L'usage de l'autre formule nécessite l'introduction d'un angle auxiliaire ; elle comporte le même nombre de logarithmes avec 6 angles différents.

La valeur de $z$ doit se compter de 0 à 180° ; elle sera

occidentale ou orientale, suivant que l'heure de l'observation sera antérieure ou postérieure à midi; et si l'on a opéré dans l'observation conformément aux indications pratiques ci-dessus, l'angle observé doit être combiné avec la valeur de $z$ par voie d'addition ou par voie de soustraction, selon que le point visé est à l'occident ou à l'orient du soleil, avant midi, et inversement après midi. On peut d'ailleurs, pour plus de sécurité dans la manière de combiner ces angles, s'aider d'un croquis des plus simples. Le résultat de l'opération indique toujours un angle compté dans le même sens que l'angle $z$. Si ce résultat est négatif ou s'il dépasse 180°, on le transforme en un angle positif moindre que 180° et compté à partir du méridien dans le sens opposé à celui de $z$.

Dans le calcul de l'angle comme dans la construction graphique, il ne faut faire entrer l'heure observée qu'après l'avoir convenablement corrigée, c'est-à-dire réduite à l'heure vraie du lieu de l'observation, en ayant égard à la longitude et à l'équation du temps. La longitude est fournie, comme la latitude, par le plan ou la carte géographique. L'équation du temps se trouve toute calculée pour chaque jour de l'année dans la connaissance des temps où l'on doit aussi rechercher la déclinaison du soleil. Les éléments astronomiques de la question sont connus avec une très-grande approximation, tandis que les éléments géographiques ne le sont qu'assez grossièrement; mais l'on doit remarquer à ce sujet qu'une erreur d'appréciation assez considérable dans les distances n'affecte que très-peu les valeurs angulaires de la latitude et de la longitude d'un point. Il ne faut pas moins de 1.850 mètres suivant le méridien pour faire varier la latitude d'une minute seulement et de 1.300 mètres environ, à la latitude de 45°,

pour altérer de la même quantité angulaire la longitude. On suppose ici une carte géographique assez détaillée pour que dans l'appréciation de la distance du lieu d'observation à quelques-uns des points qui y sont indiqués de pareilles erreurs puissent à peine être commises. L'altération angulaire qui y correspond est dès lors tout à fait négligeable en présence des erreurs d'observation qui sont d'un ordre beaucoup plus considérable. Elle est sans importance pour le calcul ou la construction d'un angle qu'on ne peut se flatter d'obtenir, pas plus avec la boussole du géologue qu'avec la seule montre, à moins de 25 à 30'.

La simplicité de la construction à laquelle nous avons réduit l'épure rend la pratique de cette méthode extrêmement facile et accessible à tout le monde ; elle peut être employée même par ceux qui lui préféreraient habituellement l'usage de la boussole en cas d'oubli ou de perte de cet appareil, et dans les circonstances où l'on aurait quelques raisons de ne pas avoir confiance dans ces indications.

---

# EXTRAIT DU RAPPORT

**ADRESSÉ A M. LE PRÉFET DES BOUCHES-DU-RHÔNE, SUR LE BATEAU A VAPEUR LE DU TREMBLEY, PAR UNE COMMISSION COMPOSÉE DE :**

**MM. VILLE et MEISSONNIER, ingénieurs des mines,**
**Et MONTET, ingénieur en chef des ponts et chaussées, *rapporteur* (1).**

---

La commission de surveillance des navires et des bateaux à vapeur des Bouches-du-Rhône fut saisie, dans le courant du mois de mai dernier, de l'examen du navire *le Du Trembley*, pour lequel ses armateurs, MM. L. Armand, Touache frères et Cie, de Marseille, demandaient le permis de navigation que les règlements prescrivent.

Le navire *le Du Trembley* est en fer ; il est du genre appelé mixte, c'est-à-dire qu'il est disposé pour porter des voyageurs et des marchandises, et pour marcher à la voile et à la vapeur.

Il peut recevoir 100 voyageurs et porter 250 tonnes de marchandises. Une élégante voilure de goëlette et une hélice mue par des machines de 70 chevaux se complètent et s'entr'aident mutuellement, avec la faculté d'agir ensemble ou séparément.

Ce qui distingue le navire *le Du Trembley* et motive ce rapport sur son premier voyage par les soussignés membres des commissions de surveillance de Marseille et d'Alger, c'est que ses machines sont disposées pour marcher par les vapeurs combinées de l'eau et de l'éther.

L'emploi de deux vapeurs combinées pour donner

---

(1) Voir plus bas la lettre de M. du Tremblay.

simultanément le mouvement à la même machine est un système nouveau dû à M. du Trembley, dont le navire de MM. Arnaud et Touache, le premier auquel il a été appliqué, a pris le nom.

Frappé de la perte de calorique que la vapeur d'eau entraîne avec elle dans les machines ordinaires, après avoir dépensé sa force expansive, M. du Tremblay résolut de retenir et d'utiliser cette chaleur. A cet effet, il eut la pensée de l'employer à la formation d'une seconde vapeur dont la force viendrait s'ajouter à celle de la vapeur d'eau.

L'éther sulfurique, qui pour se volatiliser n'exige qu'une faible température, parut à M. du Tembley propre à réaliser sa pensée ; il en fit l'essai : le résultat répondit à toutes ses espérances. Dès que la vapeur d'eau fut en contact avec l'éther, elle retomba instantanément à l'état liquide et l'éther se vaporisa. D'un côté, il s'était créé une nouvelle force expansive ; de l'autre, il s'était fait un vide qui est aussi une force.

Le problème que M. du Tremblay s'était proposé était théoriquement et heureusement résolu ; il restait encore à M. du Trembley pour atteindre son but, d'imaginer les appareils mécaniques par lesquels il ferait passer dans la pratique le résultat qu'il avait obtenu ; il n'a pas été moins heureux pour la seconde partie de son œuvre que pour la première.

La vapeur d'eau détendue, c'est-à-dire ayant dépensé sa force, est reçue à sa sortie du cylindre, dans un appareil clos que traversent, de bas en haut, un nombre considérable de petits cylindres rapprochés les uns des autres, mais isolés. Le pied de ces petits cylindres plonge dans un réservoir d'éther placé sous l'appareil dans lequel arrive la vapeur d'eau ; l'éther s'élève dans les tubes et les remplit en partie.

Dès que la vapeur d'eau a pénétré dans l'appareil que traversent les tubes et qu'elle a environné ceux-ci de toutes parts, le phénomène dont nous avons déjà parlé se produit, l'eau se condense et l'éther se vaporise.

L'eau, en se condensant, produit un vide qui ajoute à la force expansive de la vapeur d'eau en annulant la résistance qu'elle eût rencontrée, et la vapeur d'éther qui s'est rassemblée dans un compartiment séparé dans lequel débouchent les tubes, au-dessus de l'appareil vaporisateur, renferme une force nouvelle qui vient s'ajouter à celle de la vapeur d'eau.

L'eau condensée est refoulée dans la chaudière, d'où elle était sortie à l'état de vapeur, pour la réalimenter en lui restituant tout le calorique que l'éther ne lui a pas enlevé en se vaporisant.

La vapeur d'éther, qui s'est rassemblée au-dessus du vaporisateur et des tubes dans lesquels elle s'est formée, est amenée dans un cylindre qui lui est spécial, mais qui ne diffère en rien du cylindre à vapeur d'eau, dans lequel sa force est utilisée.

Le piston de ce second cylindre peut agir d'une manière indépendante, ou être attelé sur le même arbre que celui du cylindre de la vapeur d'eau ; dans ce dernier cas, les deux vapeurs concourent au même travail, c'est ce qui se passe sur le navire *le Du Trembley*, et ce qui devra se passer toujours dans les applications du nouveau système à la navigation.

La vapeur d'éther que, par plusieurs considérations, il est très-important de ne pas perdre et de ne pas laisser s'échapper, est traitée comme l'a été la vapeur d'eau; elle est introduite dans les tubes d'un appareil semblable au vaporisateur, où vient la condenser un jet continu d'eau froide qui remplit l'appareil et environne

les tubes comme le fait la vapeur d'eau dans le vaporisateur.

L'éther revenu à l'état liquide est refoulé dans le vaporisateur, comme l'eau condensée a été refoulée dans la chaudière, pour recommencer la rotation que nous venons de décrire.

Tel est le système de vapeurs combinées dû à M. du Trembley. Quelque succincte que soit la description que nous venons de donner, elle suffit pour faire comprendre le principe sur lequel ce système repose et, si ce n'est pour constater un progrès, pour faire au moins pressentir qu'il peut résulter de son application une notable diminution de combustible sur les quantités qui se consomment avec le système actuel où la vapeur d'eau est employée seule.

Cette économie de combustible résultera : 1° du retour dans la chaudière, par l'eau condensée qui vient la réalimenter, d'une notable partie du calorique que cette même eau, à l'état de vapeur, lui avait enlevé; 2° du second emploi par la vapeur d'éther de la partie du calorique qu'elle a enlevé à la vapeur d'eau en la concentrant, la seule qui ne rentre pas dans la chaudière ; 3° de la réalimentation de la chaudière par de l'eau distillée (1) qui, n'y rapportant pas de nouveaux sels, réduit de beaucoup le nombre des extractions qui entraînent une grande perte d'eau chaude, et par conséquent de calorique.

La mission de la commission de surveillance, appelée à exprimer son opinion sur le navire *le Du Trembley*, eût été facile si les choses avaient dû s'arrêter à une simple appréciation des avantages qui peuvent résulter

(1) Cette eau, naturellement distillée par la disposition des appareils, pourrait être facilement reprise et employée aux besoins du bord.

de l'invention qui lui est appliquée : après avoir constaté ou fait pressentir le progrès, elle eût laissé à l'expérience le soin de faire connaître toute l'étendue des avantages que l'on en doit attendre. Mais à côté des avantages qu'offre le nouveau système se trouvent des inconvénients, nous devons même dire des dangers, dont l'appréciation rentrait dans les attributions de la commission d'une manière plus spéciale encore que la constatation du progrès.

La navigation à la vapeur n'est pas exempte de causes d'accidents et de périls, elles sont déjà nombreuses; il est du devoir de l'administration de veiller à ce qu'il n'en soit pas créé de nouvelles sans que du moins, à côté du danger, ne se trouvent les moyens de le prévenir.

Les causes de nouveaux dangers, particulières au système du navire *le Du Trembley*, tiennent à l'emploi de l'éther. L'éther, comme on le sait, qu'il soit à l'état liquide ou à l'état de vapeur, s'enflamme subitement au premier contact du feu.

Ces causes de dangers ajoutées à celles qui sont déjà inhérentes à la navigation à la vapeur, ont dû appeler l'attention la plus sérieuse de la commission.

Nous devons toutefois nous hâter de dire, d'après M. du Trembley lui-même, que son système n'est pas inséparable de l'emploi de l'éther : M. du Trembley indique dans l'ouvrage descriptif de ses appareils, plusieurs autres liquides avec lesquels on atteindrait le même résultat qu'avec l'éther, tels que le chloroforme, le chloride ou le sulfure de carbone ; mais le chloroforme revient à un prix beaucoup plus élevé, et le chloride de carbone n'est pas dans le commerce.

Quoi qu'il en soit des avantages spéciaux que chacun

de ces liquides peut présenter, nous laisserons à l'expérience le soin de les déterminer : M. du Trembley, ayant fait choix de l'éther pour le navire soumis à l'examen de la commission, c'est de l'emploi de l'éther, de ses avantages et de ses dangers que nous avons à nous occuper.

Dès la première visite qu'elle fit du navire *le Du Trembley*, la commission constata les précautions qui ont été prises pour prévenir les accidents qui pourraient résulter de l'emploi de l'éther, ou pour leur enlever tout caractère dangereux.

Ainsi le vaporisateur, le condenseur et le cylindre dans lesquels est reçue la vapeur d'éther ont tous, par une heureuse disposition des appareils, une enveloppe extérieure qui, dans le cas où une fuite se manifesterait, empêcherait la vapeur d'éther de se répandre à l'extérieur; ils sont munis de manomètres et de soupapes de sûreté sur chacun de leurs compartiments à vapeur.

Aucune communication n'existe entre la chambre des chaudières et celle des machines, et l'on ne pénètre dans celle-ci qu'avec des lampes de mineurs, qui s'éteignent dans la vapeur d'éther sans l'enflammer.

D'ailleurs, si la vapeur d'éther présente le grave inconvénient de s'enflammer au contact du feu, elle présente d'un autre côté l'avantage de prévenir elle-même du danger avant qu'il soit arrivé, en annonçant sa présence par son odeur, en quelque petite quantité qu'elle soit mêlée à l'air. M. du Trembley est arrivé à fermer les joints de ses appareils avec une telle précision que nous pourrions dire, que si une légère odeur annonce la présence de l'éther lorsque les machines déjà chauffées sont arrêtées, cette odeur disparaît entièrement quand le navire est en marche.

Aux motifs de sécurité que la commission avait puisées dans l'examen du *Du Trembley*, et surtout dans la manière dont s'étaient comportés les appareils dans deux sorties qu'elle avait faites avec lui en mer, venait s'en joindre une autre que nous ne devons pas passer sous silence.

Si l'application au navire *le Du Trembley* est le premier essai du système des vapeurs combinées à la navigation maritime, l'application de ce système aux machines fixes peut être considérée comme ayant déjà reçu la sanction de l'expérience. Il existe à Lyon une machine de ce système de la force totale, due aux deux vapeurs combinées, de 50 chevaux, pour le service d'une de nos cristalleries les plus importantes, qui fonctionne depuis environ six ans sans interruption, sans avoir occasionné aucun accident, et comme l'assurent les rapports qui nous ont été communiqués, à la satisfaction complète de ceux qui l'ont établie.

Pendant les deux sorties qu'avait faites la commission sur *le Du Trembley*, aucune fuite d'éther, aucune hésitation dans la marche de la machine, rien enfin qui pût faire naître la plus légère crainte ne s'était manifesté.

Mais, tout en reconnaissant les sages précautions prises par l'inventeur pour rémédier à tous les cas d'accident qu'il avait pu prévoir, la commission se demanda s'il les avait en effet tous prévus; si une plus longue expérience ne devait pas dévoiler d'autres dangers qui pourraient être la conséquence d'une plus longue navigation qui seule pouvait les faire connaître.

Enfin, si comme elle l'espérait, c'était un succès complet que la première navigation du *Du Trembley* devait définitivement constater en faveur du nouveau système, elle voulait pouvoir le proclamer avec une

parfaite connaissance des faits et en donnant à son opinion la garantie d'une expérience assez prolongée.

Telles furent les considérations qui amenèrent la commission de surveillance à exprimer le désir qu'avec l'agrément de M. le préfet des Bouches-du-Rhône, deux de ses membres, son président et son secrétaire, accompagnassent *le Du Trembley* dans son premier voyage à Alger.

Conformément au désir exprimé par la commission de surveillance, M. le préfet des Bouches-du-Rhône voulut bien autoriser le voyage de ces deux membres. Par les mêmes motifs, et sur l'invitation de M. le préfet du département et de la commission de surveillance d'Alger, le président de cette commission accompagna *le Du Trembley* à son retour à Marseille.

Ce rapport exprime l'opinion commune aux trois délégués des deux commissions de surveillance sur les résultats du voyage et sur les conséquences qu'il en faut déduire.

Le navire *le Du Trembley* partit du port de Marseille, le 7 juin courant, à une heure après midi, pour entrer dans le port d'Alger, le 9 à six heures du soir, après cinquante-trois heures de navigation.

Nous nous hâtons de constater que pendant ces cinquante-trois heures de navigation, la machine ne s'est jamais arrêtée, et qu'elle n'a jamais hésité, quoique le navire ait subi des temps très-divers, qui ont passé par tous les degrés, depuis un gros temps se rapprochant de la tempête, jusqu'au calme plat.

Pendant le calme, la machine faisait seule marcher le navire, sans le secours des voiles ; sa marche était parfaitement régulière et uniforme. Les pistons des cylindres faisaient trente-deux courses entières par minute ; l'hélice faisait soixante-quatre tours et le navire

marchait à raison de six nœuds et demi. Cette marche est loin d'être accélérée, mais on ne doit pas oublier que les forces réunies des deux machines atteignent à peine 70 chevaux. D'ailleurs, il ne s'agit pas de constater la marche du navire, mais la régularité de la marche de la machine, les avantages économiques du nouveau système et les moyens de prévenir les inconvénients qu'il peut présenter.

Dans le courant de la traversée, les appareils ont dû être une fois alimentés d'éther ; cette opération s'est faite sans difficultés, sans qu'il pût en résulter aucun accident, et sans arrêter le mouvement de la machine, en vissant, sur un robinet spécial du condenseur, un syphon dont l'autre branche plongeait dans le vase qui renfermait l'éther et qui était resté sur le pont. Le condenseur a lui-même aspiré la quantité d'éther qu'on a voulu lui laisser prendre.

Ces tubes en verre donnent l'élévation de l'éther dans le condenseur et le vaporisateur et indiquent le moment où une nouvelle alimentation devient nécessaire. Le manomètre qui indiquait la tension de la vapeur d'eau s'est tenu, pendant le voyage, moyennement à $1^{atm},3/4$, et celui qui indiquait la tension de la vapeur d'éther à $1^{atm},7/8$.

Le vide indiqué dans le condenseur de la vapeur d'eau a été de $0^{m},55$, et celui indiqué dans le condenseur de la vapeur d'éther de $0^{m},10$ seulement.

Si à ces données nous ajoutons : que les pistons, comme nous l'avons déjà dit, battaient trente-deux coups par minute et que leur course est de $0^{m},75$ ; que le diamètre du cylindre à vapeur d'eau est de $0^{m},65$, et celui du cylindre à vapeur d'éther de $0^{m}.80$ ; enfin, que les machines n'ont marché qu'à demi-détente, on aura les éléments principaux du calcul de leur force.

Les machines ont été livrées pour une force de 70 chevaux en marchant à la vapeur d'eau sur les deux cylindres et à la pression de 2 atmosphères.

M. Rossin, sous-directeur des constructions navales à Toulon, a trouvé que travaillant à 2 atmosphères et à demi-détente leur force était :

| | chev. |
|---|---|
| Sur le cylindre à vapeur d'eau de. . . | 35.00 |
| Sur le cylindre à vapeur d'éther de. . | 36.24 |
| | 71.24 |

En prenant les données ci-dessus recueillies pendant notre voyage, mais en supposant que les pistons ne battaient que trente coups par minute, on trouve pour la force des machines :

| | chev. |
|---|---|
| Sur le piston à vapeur d'eau. . . . . . | 34.00 |
| Sur celui à vapeur d'éther. . . . . . | 35.00 |
| | 67.00 |

La moyenne de ces deux résultats qui ont été sans doute exacts, chacun à des moments donnés, est de $69^{\text{chev.}},41$.

Si la pression de la vapeur d'eau pendant la traversée a été limitée à $1^{\text{atm}},3/4$, au lieu d'être poussée à 2 atmosphères, et si la machine n'a jamais fonctionné qu'à demi-détente, c'est à cause de l'insuffisance du condenseur qui n'aurait pu liquéfier toute la vapeur d'éther qui aurait été produite.

Lorsqu'il existera un parfait accord dans les proportions des appareils, la force de la vapeur d'éther dépassera d'un quart environ celle de la vapeur d'eau.

On remarquera qu'il a existé une grande différence entre les vides produits par la condensation de la vapeur d'eau et par celle de la vapeur d'éther. Cette différence tient à deux causes : l'une est due à la tension que con-

serve encore la vapeur d'éther à la température de l'eau de mer employée à la concentrer, l'autre à l'insuffisance que nous avons déjà signalée du condenseur dont les surfaces ne présentent pas un développement assez grand. Défaut facile à comprendre et bien excusable quand on sait que la machine du *Du Trembley* est la première du système à vapeurs combinées qui ait été installée sur un navire. Sa construction et son installation ont été une suite d'études et de tâtonnements qui ont nui à l'ensemble des appareils et à leur accord réciproque.

Ce défaut d'accord ne se reproduira pas dans une nouvelle machine, qui pourra donner alors des résultats supérieurs encore en économie à ceux que nous avons constatés pour la consommation de l'éther et du charbon sur *le Du Trembley*.

Dans cette première traversée, qui fut cependant plus particulièrement employée à suivre la machine et à surveiller sa marche, nous fîmes plusieurs observations sur la consommation du charbon; mais nous n'en rapporterons les résultats qu'avec ceux constatés au retour.

Disons, pour compléter le compte rendu de notre première traversée, qu'en aucun moment l'éther n'annonça sa présence d'une manière sensible et incommode; qu'il ne se manifesta par conséquent aucune fuite dans les joints. Sa consommation fut d'environ un demi-litre par heure. Le prix de l'éther étant moyennement de 2 francs le litre, la dépense par heure a été de 1 franc; elle eût été certainement moins forte si les surfaces du condenseur avaient eu un plus grand développement, mieux en rapport avec la quantité de vapeur à condenser.

Notre seconde traversée se fit comme la première,

sans aucun incident qui pût faire naître quelque crainte et faire douter du succès; seulement la marche du navire ayant été constamment contrariée par une forte mer et par un vent de bout, la durée de la traversée fut de soixante-neuf heures au lieu de cinquante-trois, qu'avait duré la première.

La durée de ce voyage a constaté de nouveau l'insuffisance de force de la machine, mais ce résultat n'infirme en rien la bonté et les avantages économiques du nouveau système et la sécurité qu'il doit inspirer. La durée moyenne de trente-six traversées directes faites par *le Du Trembley*, alors qu'il ne marchait qu'à la vapeur d'eau a été de $71^{h}\ 22'$. Aucune de ces trente-six traversées n'a été faite en moins de 55 heures. Si *le Du Trembley*, par la transformation de ses machines, n'a pas gagné de la vitesse, il n'en a pas du moins perdu.

Quelque ingénieuse que soit la conception de M. du Trembley au point de vue mécanique, les avantages économiques sont le beau côté, le côté utile de son invention; ils étaient d'ailleurs son but. Dans le cours de nos deux traversées, nous avons fait quatre observations sur la quantité de charbon dépensée. Elles ont duré ensemble $36^{h}\ 30'$ et elles ont eu lieu à peu près par tous les temps et dans toutes les conditions. D'ailleurs, quel que fût l'état du temps et des vents, que les machines fussent seules à faire marcher le navire, ou qu'elles fussent aidées par les voiles, le travail qu'elles produisaient était toujours à très-peu près constant et d'environ 70 chevaux, comme l'indiquait la position très-peu variable des aiguilles des manomètres qui mesuraient les pressions et les vides.

La quantité de charbon dépensée pendant les $36^{h}\ 50'$ qu'ont duré nos expériences, a été de $2.860^{k},90$, soit

par heure en moyenne $77^k,67$, et par force de cheval $1^k,11$, en admettant que la force de la machine fût de 70 chevaux, et de $1^k,16$, en ne la comptant que de 67.

Avant de marcher par les vapeurs combinées de l'eau et de l'éther, les machines du *Du Trembley* ont marché sous les mêmes pressions donnant par conséquent la même force avec la vapeur d'eau seule, agissant sur les deux cylindres. Elles ont consommé, d'après le journal du bord et les livres des armateurs, pour 2.818 heures de chauffe, 851.950 kilogrammes de charbon, soit par heure 302 kilogrammes, et par force de cheval, de $4^k,31$ à $4^k,51$.

D'après ce calcul, on serait arrivé, par l'introduction de la vapeur d'éther, à une économie de charbon sur la quantité dépensée quand les deux cylindres marchaient par la seule vapeur d'eau, de $3^k,20$ à $3^k,35$ par heure et par force de cheval, ou de $74^k,26$ pour 100, résultat si beau que nous osons à peine y croire, quoique l'exactitude des chiffres sur lesquels nos calculs sont basés nous soit de nouveau affirmée, et qu'il diffère peu de celui que nous donnent nos propres expériences.

Nous avons trouvé pour la dépense en charbon, $1^k,11$ ou $1^k,16$ par heure et par force de cheval : les meilleurs constructeurs ne descendent pas au-dessous de 4 kilogrammes pour celle stipulée dans leurs marchés, comme maximum de dépense des machines pour navires, ce qui porte l'économie de $2^k,89$ à $2^k,84$ par heure et par force de cheval, ou de 71 à $72^k,25$ pour 100, résultat peu inférieur au précédent, qui laisse un beau succès à l'inventeur.

D'ailleurs, quoi qu'il en soit de l'exactitude plus ou moins rigoureuse de ces calculs et des résultats que nous en avons déduits, et que l'expérience rectifiera, s'il y a lieu, toujours est-il qu'il est demeuré constant

et incontestable pour nous qu'au point de vue de la dépense en charbon, le système de M. du Trembley présente une grande économie, et que la dépense en éther, loin de balancer les avantages de cette économie, en change à peine le résultat.

Quant aux dangers inhérents à l'emploi de l'éther, ils sont les mêmes, ni plus ni moins, que ceux qui sont inhérents à l'éclairage par le gaz hydrogène carboné: on pourra faire valoir contre l'application de l'éther aux machines à vapeur, les mêmes motifs que l'on mit en avant quand il s'agit de l'emploi du gaz pour l'éclairage. Ces motifs ne prévaudront pas plus aujourd'hui qu'ils ne prévalurent alors contre des avantages réels et une notable économie.

L'emploi de l'éther pour les machines à vapeur se généralisera, malgré ses dangers, si quelque autre invention ne vient l'emporter en économie sur celle de M. du Trembley, ou si la chimie ne découvre pas un nouveau liquide qui, en présentant les avantages de l'éther, n'en aura pas les inconvénients.

Il faut donc, dans l'état des choses, accepter l'emploi de l'éther et ne se préoccuper de ses inconvénients et de ses dangers que pour rechercher les moyens de prévenir les accidents qui pourraient en résulter.

Nous avons déjà dit que de sages précautions ont été prises pour prévenir ces accidents dans l'installation des appareils du *Du Trembley*, et qu'à l'abri de ces précautions, il a pu faire plusieurs sorties d'essai des ports de Marseille et d'Alger et sa double traversée entre ces deux ports, non-seulement sans qu'aucun accident ait eu lieu, mais même sans qu'on en ait jamais eu la crainte.

Toutefois, aux précautions déjà prises dans les appareils du *Du Trembley*, nous pensons qu'il convient d'en

ajouter quelques-unes encore, dussent-elles être un surcroît inutile de prudence comme nous-mêmes sommes assez disposés à le croire. Voici la récapitulation de ces précautions déjà prises par M. du Trembley ou proposées par nous après les avoir concertées ensemble.

« 1° Il sera placé sur le vaporisateur deux soupapes » de sûreté distinctes, l'une pour la vapeur d'eau s'ouvrant à la pression de $1^{atm},1/10$, l'autre pour la vapeur d'éther, la rejetant par un tube spécial dans le » condenseur et s'ouvrant sous la pression maximum » déterminée pour la force de la machine;

» 2° Il sera placé sur le condenseur une soupape de » sûreté s'ouvrant sous la pression de $1^{atm},1/10$ et rejetant la vapeur dans un tube s'élevant à 2 mètres au » moins au-dessus du pont du navire;

» 3° Il sera adapté deux tubes de décharge, avec » robinets se manœuvrant du pont, aux réservoirs du » condenseur et du vaporisateur pour évacuer instantanément et directement à la mer l'éther qu'ils contiendront;

» 4° Il sera placé sous les machines, dans la cale, un » ventilateur renouvelant l'air et rejetant au dehors les » vapeurs qui pourraient s'y rassembler;

» 5° On fermera hermétiquement, par une cloison en » tôle, toute communication entre les chambres des » chaudières et des machines, et on disposera les chaudières dans le sens qui devra donner le moins de chaleur à la cloison;

» 6° On revêtira en tôle toutes les parois de la chambre » des machines de manière à ne pas laisser de bois en » contact direct avec la vapeur d'éther en cas de fuite » et d'inflammation;

» 7° On éclairera la chambre des machines par un » système extérieur, et, dans tous les cas, on n'y in-

» troduira que des lampes de mineurs et jamais de feu » quand les machines seront chauffées, et on ne pourra » pas y fumer;

» 8° On essayera, avant le montage et séparément, » suivant les prescriptions des articles 14 et 18 de l'or- » donnance du 17 janvier 1846, le vaporisateur, le » condenseur, les tuyaux et toutes les autres pièces » des machines destinées à recevoir la vapeur d'éther;

» 9° On ménagera le moyen d'inonder la chambre des » machines, de vapeur d'eau prise directement à la » chaudière, par un robinet se manœuvrant ou du de- » hors ou de la chambre de la chaudière;

» 10° On disposera les robinets des prises de vapeur » d'eau et d'éther pour être manœuvrés du pont;

» 11° On aura toujours sur le pont, à portée de la » chambre des machines, une manche avec flèche et » pomme d'arrosoir, alimentée par une pompe à bras, » disposée pour éteindre immédiatement le feu qui pour- » rait se déclarer;

» 12° On aura à bord, prêt à fonctionner, un des ap- » pareils dus au colonel Paulin pour pénétrer et tra- » vailler au besoin dans une atmosphère irrespirable;

» 13° Les niveaux du vaporisateur et du réservoir du » condenseur seront munis de robinets faciles à ma- » nœuvrer, pour fermer toute communication des ni- » veaux avec les appareils, en cas de rupture du verre;

» 14° En cas de fuite grave, le mécanicien fera im- » médiatement arrêter la machine et passer le liquide » du vaporisateur au condenseur, pour ne réparer la » fuite que lorsque le manomètre n'indiquera plus au- » cune pression au vaporisateur;

» 15° Dans le cas où la fuite ne serait pas immédiate- » ment réparable, le mécanicien enlèvera le liquide des » appareils et fera marcher les machines à la vapeur

» d'eau seulement, les choses devant être disposées » pour qu'il puisse en être ainsi au besoin ;

» 16° Ces dispositions n'excluent aucune de celles que » renferment l'ordonnance royale du 17 janvier 1846, » l'instruction et la circulaire des 5 et 6 juin de la même » année. »

Avec la garantie de ces dispositions, non-seulement nous pensons que le gouvernement peut autoriser l'emploi de la vapeur d'éther pour la navigation maritime, mais nous croyons qu'il doit l'encourager comme une découverte essentiellement utile, essentiellement économique.

## APPLICATION DU CHLOROFORME AUX MACHINES BINAIRES.

*Extrait d'une lettre*

**De S. E. M. le ministre de la marine à S. E. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.**

Des expériences ont été commencées sur une machine binaire de 120 chevaux, à vapeur d'eau et à vapeur de chloroforme, placée à bord de l'aviso *le Galilée* qui, depuis quelques semaines, est en état d'armement complet à Lorient; mais un défaut reconnu dans la confection d'une pièce de la machine, qu'après une première sortie à la mer on a jugé utile de refaire à neuf, a retardé les essais jusqu'à ce jour.

Cette courte sortie du *Galilée* a été très-satisfaisante, en montrant qu'à une vitesse égale à celle d'un autre bâtiment semblable, de même puissance, mais à vapeur d'eau seule, la consommation de combustible a été moitié moindre; et tout porte à penser qu'après les

perfectionnements qui vont être accomplis prochainement, l'économie sera plus grande encore.

Le premier appareil binaire qu'ait employé la marine est en service depuis l'année 1850, dans un des ateliers du port de Lorient, et développe une puissance de 20 chevaux. Les résultats qu'il a donnés ont été assez satifaisants pour décider l'administration supérieure à faire l'application en grand du système, et c'est de cette détermination qu'est résultée la construction de l'appareil du *Galilée*.

Cette première machine de 20 chevaux avait primitivement fonctionné à l'éther; l'emploi subséquent du chloroforme n'a pas donné des résultats supérieurs comme puissance et économie; mais c'est cependant à ce dernier liquide que l'on s'est arrêté, attendu qu'il n'est point inflammable, tandis que l'éther l'est éminemment. Il a, de plus, sur ce dernier l'avantage de se condenser à une température plus élevée, en sorte que son emploi paraît plus sûr dans les régions intertropicales, où l'eau extérieure serait trop chaude pour condenser suffisamment l'éther après l'action de la vapeur dans l'appareil.

---

# MÉMOIRE

## SUR L'EMPLOI DU CHLORE DANS LES ANALYSES;

Par MM. RIVOT, BEUDANT et DAGUIN (1).

### INTRODUCTION.

Le chlore a été employé jusqu'à présent pour les analyses des substances minérales, dans deux circonstances bien différentes, qui peuvent être caractérisées par les noms de voie sèche et de voie humide.

Dans le premier cas, on se sert du chlore pour attaquer des minéraux contenant soufre, antimoine, arsenic, et des métaux tels que le fer, le cuivre, le nickel, le cobalt, etc. En faisant agir le gaz desséché sur ces minéraux, on détermine la formation de chlorures volatils et de chlorures à peu près fixes, qu'on parvient à séparer approximativement les uns des autres, en élevant plus ou moins la température.

L'emploi du chlore est commode, en ce qu'il permet une attaque facile et complète; mais il présente, pour les opérations analytiques, le grave inconvénient de

---

(1) Ce travail a été présenté à l'Académie des sciences et renvoyé à l'examen d'une commission composée de MM. Thénard, Chevreul et Pelouze : après avoir analysé le mémoire, la commission, par l'organe de son rapporteur, M. Pelouze, déclare que les auteurs ont fait connaître un grand nombre d'observations nouvelles et plusieurs méthodes analytiques importantes. Elle propose en outre l'insertion du mémoire dans le *Recueil des savants étrangers.*

Dans sa séance du 5 décembre 1853, l'Académie a adopté ces conclusions. C.

baser la séparation du soufre de l'arsenic et de l'antimoine, des métaux, cuivre, cobalt, nickel, etc., sur une différence de volatilité des chlorures. La séparation obtenue de cette manière n'est jamais bien nette, et ne peut donner de résultats satisfaisants qu'entre les mains d'un opérateur habile et bien habitué à ce genre d'expériences.

Dans le second cas, le chlore est employé par voie humide pour peroxyder le fer et le cobalt dans des liqueurs acides, ou pour produire la dissolution dans l'acide chlorhydrique de certains métaux précipités à l'état de sulfures. On évite par là de recourir à l'action oxydante de l'acide azotique, qui pourrait gêner dans les opérations ultérieures. Dans le dernier cas énoncé, l'action du chlore se porte principalement sur les métaux, la plus grande partie du soufre reste indissoute.

Nous avons fait depuis longtemps des expériences nombreuses qui nous ont conduits à nous servir plus fréquemment du chlore pour produire des actions oxydantes énergiques dans les dissolutions métalliques : l'emploi de cet agent a permis de résoudre simplement un certain nombre de problèmes difficiles de l'analyse chimique.

Ce mémoire sera divisé en trois chapitres.

Dans le premier, nous exposerons les réactions générales du chlore sur les dissolutions alcalines et acides en présence des corps oxydables.

Dans le second, nous reviendrons plus en détail sur ces réactions, et nous citerons un certain nombre d'exemples de leur emploi dans les analyses.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous donnerons le résumé général des principales applications du chlore comme agent oxydant.

## CHAPITRE Ier.

### ACTION DU CHLORE SUR LES MATIÈRES OXYDABLES, DANS LES DISSOLUTIONS ALCALINES ET ACIDES.

---

### § 1er. *Action du chlore dans les dissolutions alcalines.*

Le chlore, amené dans une dissolution alcaline, donne lieu à du chlorure alcalin et à du chlorate, ou bien à de l'hypochlorite, suivant le degré de concentration et la température à laquelle on opère.

La liqueur chargée de ces sels se comporte comme un agent oxydant très-énergique; elle a été plusieurs fois employée pour la préparation de certains peroxydes métalliques.

Les deux sels qui cèdent l'oxygène, le chlorate et l'hypochlorite alcalins, sont des oxydants quelquefois plus commodes à employer que l'eau oxygénée, dont ils diffèrent par une résistance notablement plus grande à la décomposition. On ne peut pas obtenir, par leur moyen, les peroxydes préparés par M. Thénard à l'aide de l'eau oxygénée, mais on peut arriver à des oxydations complètes de certaines substances, que l'eau oxygénée n'attaque que d'une manière imparfaite ou incommode, à cause de sa trop brusque décomposition.

*Dégagement d'oxygène.* — La dissolution saline obtenue par la saturation des alcalis par le chlore donne un abondant dégagement d'oxygène, à la température de 40 à 50°, ou à une température plus élevée quand elle est mise en contact avec certaines substances, le quartz en sable, le platine en petits fragments, certains minéraux pulvérisés, comme la pyrite de fer, le nickel arsenical, etc.; certains oxydes métalliques,

notamment la magnésie, la chaux, les oxydes de cuivre, de cobalt, de nickel, de fer et dans bien d'autres circonstances qu'il serait trop long d'énumérer ici.

Quand ce dégagement d'oxygène a lieu, la dissolution saline n'agit pas comme oxydant; il paraît y avoir seulement décomposition des acides oxygénés du chlore et formation de chlorures alcalins, sous l'influence des corps très-divisés.

Ce phénomène extrêmement curieux et qui se présente fréquemment quand on emploie le chlore comme agent d'oxydation, offre une certaine analogie avec la décomposition brusque de l'eau oxygénée par un grand nombre de substances.

Ce phénomène est assez analogue à celui sur lequel est basé le procédé, recommandé dans plusieurs traités de chimie, pour la préparation de l'oxygène par la décomposition du chlorate de potasse par la chaleur. On rend la décomposition du sel plus facile en le mélangeant avec de l'oxyde de cuivre.

Nous employons très-fréquemment dans les analyses, pour l'oxydation du soufre, de l'arsenic, de l'antimoine, et pour la séparation de certains métaux, l'action des dissolutions salines obtenues en saturant la potasse par le chlore, ou, ce qui revient à peu près au même, l'action du chlore sur une liqueur alcaline, dans laquelle les corps à oxyder sont en dissolution ou en suspension.

Nous employons l'un ou l'autre de ces deux modes d'action, suivant les circonstances de l'analyse; comme les réactions chimiques sont à peu près les mêmes, nous considérerons seulement dans ce qui va suivre l'action du chlore dans une liqueur alcaline.

Nous faisons dès à présent la remarque que les oxydations peuvent être également obtenues à l'aide d'une dissolution saline préparée d'avance, en saturant un

alcali par le chlore, et que dans certaines circonstances, faciles à apprécier, l'emploi de cette dissolution est plus commode.

Les terres alcalines et plusieurs oxydes métalliques, mis dans l'eau, donnent avec le chlore des réactions analogues à celles des alcalis, et pourraient servir à produire des phénomènes d'oxydation.

Ainsi, quand on fait arriver du chlore sur des oxydes de cuivre et de plomb, mis en suspension dans l'eau, on observe la dissolution du cuivre à l'état de chlorure et la transformation de l'oxyde de plomb en bioxyde.

Ce fait et un grand nombre d'autres faits analogues que nous avons expérimentés, nous permettront de considérer l'action oxydante du chlore en présence des alcalis comme un cas particulier des phénomènes d'oxydation que peut produire le chlore en présence des autres oxydes; mais avec les alcalis l'action est toujours plus énergique et en général plus commode à employer.

Nous avons essayé de remplacer les alcalis par les carbonates alcalins, qui nous paraissaient préférables dans plusieurs circonstances. Nous avons réussi à produire des actions oxydantes assez fortes, en employant les carbonates en dissolutions concentrées et chaudes, mais nous avons observé que dans un grand nombre de circonstances le chlore au lieu d'agir exclusivement sur l'alcali des carbonates, porte une partie de son action sur les corps oxydables. Par exemple, si l'on met du cuivre gris en digestion dans du carbonate de potasse, et qu'on fasse arriver du chlore, l'action de ce gaz se manifeste d'abord sur le carbonate, en oxydant le minéral, puis se porte sur l'oxyde de cuivre, dont une grande partie se dissout : vers la fin de l'opération, le soufre se sépare à l'état libre, ce qui prouve que le

chlore agit directement et comme chlorurant sur le minerai.

Nous avons dû en conséquence renoncer à l'emploi des carbonates alcalins et l'action du chlore sur les alcalis caustiques a été le sujet de presque toutes nos expériences.

Nous énoncerons maintenant les principaux résultats que nous avons obtenus, en renvoyant au second chapitre les détails des opérations et les applications à l'analyse.

*Résultats.* — Le soufre libre, le soufre en combinaison dans les matières minérales et dans les substances organiques, sont rapidement et complétement transformés en acide sulfurique, dont le dosage peut être obtenu très-exact, à l'aide de quelques précautions simples que nous indiquerons plus loin.

Un certain nombre de matières organiques, et notamment le papier, se dissolvent avec rapidité. L'action sur le papier des filtres est très-utile dans les analyses, en ce qu'elle permet d'éviter les grillages, qui donnent des pertes sensibles quand on opère sur des métaux volatils.

L'arsenic et l'antimoine, dans les sulfures naturels, dans ceux produits par voie humide, dans les minéraux ou dans les produits d'arts, passent à l'état d'arséniates et d'antimoniates, qui peuvent être dissous complétement, et par là nettement séparés des métaux qui les accompagnent.

Plusieurs oxydes récemment précipités passent à un degré supérieur d'oxydation, dont la nature dépend des circonstances dans lesquelles on opère, de la température et des proportions de chlore et d'alcali.

### § 2. *Action oxydante du chlore dans les liqueurs acides.*

Afin de mettre bien en évidence les cas où l'action oxydante du chlore, dans les liqueurs acides, peut être appliquée aux analyses, nous indiquerons les réactions produites dans un certain nombre de circonstances différentes.

Nous distinguerons deux cas principaux : celui où la liqueur renferme un acide assez fort pour empêcher toute action du chlore sur les bases combinées, et celui où l'acide est assez faible pour que le chlore puisse, en sa présence, agir sur les bases combinées avec lui.

*Premier cas.* — Supposons une dissolution renfermant un acide en excès, énergique et n'éprouvant aucune transformation sous l'influence du chlore, tel que les acides sulfurique, chlorhydrique, phosphorique, etc. Supposons en même temps dans cette dissolution un oxyde métallique base assez forte et ne pouvant pas, en présence de l'acide en excès, passer à un degré supérieur d'oxydation.

Si dans cette liqueur on met un corps avide d'oxygène, comme le soufre, les sulfures métalliques, les matières organiques, ou des oxydes susceptibles de peroxydation, le chlore arrivant dans la liqueur agira comme il le ferait en présence de l'acide seul. Il n'exercera qu'une action chlorurante, modifiée, quant aux produits définitifs, par la présence de l'eau et de l'acide libre.

Cette action n'est pas, en général, susceptible d'être appliquée à la séparation des métaux les uns des autres. Dans ces conditions, on peut se servir du chlore pour décomposer les sulfures de certains métaux, et pour obtenir une dissolution exempte d'acide nitrique. Cet emploi du chlore est bien connu, et nous n'avons

pas besoin de nous appesantir davantage sur ce sujet.

*Second cas.* — Considérons maintenant une dissolution acide, dont la base soit assez énergique, mais dont l'acide soit assez faible pour être déplacé partiellement par le chlore. L'action du chlore dans une pareille dissolution pourra être fort complexe, il se produira des chlorures métalliques, tandis que l'oxygène correspondant se portera soit sur une partie de l'oxyde métallique, dans le cas, par exemple, où il peut, en se combinant avec l'oxygène, donner lieu à un peroxyde stable en présence de l'acide faible, soit sur l'acide lui-même (1).

Si un corps oxydable est mis en présence, il facilitera la production du chlorure par sa tendance à absorber l'oxygène avec lequel il se combinera au moins en partie.

L'action oxydante du chlore dans une liqueur renfermant un acide faible présente donc une certaine analogie avec celle que nous avons signalée dans le premier paragraphe. Dans les deux cas, le chlore doit transformer un oxyde en chlorure, en rendant disponible une proportion correspondante d'oxygène.

Les produits obtenus sont au contraire bien différents, en raison de la présence de l'acide faible, qui ne permet pas, ou tout au moins ne favorise pas comme les alcalis, la formation d'un certain nombre de combinaisons oxygénées acides.

---

(1) La réaction dont nous nous occupons ici peut donner des produits très-complexes, quand l'acide faible employé est de nature organique.

L'oxygène provenant de la formation du chlorure et le chlore lui-même agissent en même temps sur l'acide organique et donnent des composés acides qu'il est difficile d'isoler et d'étudier.

Nous avons fait presque toutes nos expériences avec l'acide acétique, qui nous a paru se prêter assez bien aux réactions que nous cherchons à utiliser. Cet acide est, en effet, facilement déplacé par le chlore, il n'empêche pas la formation des peroxydes stables et forme avec les bases un peu fortes des sels solubles. Il est très-volatil, ce qui permet de l'expulser en peu de temps, quand sa présence est nuisible aux réactions ultérieures. A côté de ces avantages, il offre un inconvénient résultant de sa nature organique, en raison de laquelle il éprouve, sous l'influence du chlore et de l'oxygène, des transformations variées.

*Exemples.* — Citons quelques exemples de l'action oxydante du chlore sur les corps combustibles, en présence d'une dissolution d'acétate alcalin contenant un excès d'acide acétique.

Le soufre libre, le soufre des sulfures métalliques, ne se transforment en acide sulfurique que lentement, et presque toujours incomplétement. Les métaux des sulfures sont, au contraire, oxydés assez rapidement et presque tous dissous en totalité. Pour les métaux qui forment des peroxydes stables, comme le plomb et le manganèse, la formation des peroxydes n'est pas nette; le soufre non dissous empêche l'action oxydante d'être complète.

Si l'on fait agir le chlore sur les acétates au lieu d'employer les sulfures, les peroxydes se forment au contraire facilement.

Par exemple, dans une liqueur acétique contenant un alcali et des oxydes d'étain, de plomb et de manganèse, le chlore précipite en très-peu de temps de l'oxyde d'étain $SnO^2$, du peroxyde de plomb, du bioxyde de manganèse. L'acide stannique est complétement précipité, mais il entraîne toujours une notable

proportion des oxydes qui sont dans la liqueur, en produisant des stannates indécomposables par les acides faibles.

Le peroxyde de plomb se précipite, au contraire, parfaitement pur, et peut être lavé très-aisément. Le bioxyde de manganèse se sépare aussi facilement, en sorte que cette action peut être utilisée pour quelques séparations du manganèse comme elle peut l'être pour celles du plomb.

Dans une liqueur acétique, le papier et les autres matières organiques peuvent être oxydés, mais l'action est toujours plus lente et souvent moins complète que dans les dissolutions alcalines.

---

## CHAPITRE II.

Nous allons maintenant exposer le mode d'action du chlore sur un certain nombre de corps qui se rencontrent souvent dans les analyses. Nous étudierons successivement pour chacun d'eux la nature des produits oxygénés obtenus, et nous indiquerons de quelle manière on peut utiliser les réactions pour les dosages et pour les séparations.

### § 1er. *Soufre.*

Le soufre, réduit en poudre fine, se dissout rapidement dans une liqueur chaude contenant de la potasse ou de la soude. La dissolution est colorée en jaune ou en brun, suivant l'excès plus ou moins grand d'alcali. Si dans cette dissolution, portée à la température de 50 ou 60°, on fait arriver du chlore, on voit la couleur jaune ou brune disparaître assez rapidement sans qu'il

se dépose du soufre (1). Quand la décoloration est complète, on cesse de faire arriver du chlore; la liqueur renferme alors tout le soufre à l'état d'acide sulfurique combiné à l'alcali, l'excès de chlore, du chlorure et du chlorate alcalin. Il ne faut pas plus d'une demiheure pour transformer en acide sulfurique 2 grammes de soufre dissous dans la potasse ou dans la soude.

Pour doser l'acide sulfurique dans la liqueur alcaline, il faut verser un petit excès d'acide chlorhydrique, chauffer jusqu'à la complète décomposition du chlorate et ajouter du chlorure de baryum qui précipite l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte. On conclut du poids de ce dernier la proportion d'acide sulfurique, et par suite celle du soufre (2).

---

(1) Si la dissolution alcaline du soufre ne contient pas un assez grand excès d'alcali, ou si elle est un peu étendue et presque froide, la première action du chlore sépare une petite quantité de soufre libre, qui disparaît plus tard quand on fait chauffer, et sous l'influence d'une plus grande quantité de chlore.

Quand tout le soufre a disparu, la liqueur contient la totalité de ce métalloïde à l'état d'acide sulfurique. Le premier dépôt de soufre n'a pas d'autre inconvénient que celui de rendre l'action du chlore plus lente.

(2) Le sulfate de baryte précipité par le chlorure de baryum dans les sulfates de potasse ou de soude entraîne toujours une certaine quantité de sulfate alcalin qu'on n'enlève pas par les lavages. Pour arriver à un dosage tout à fait exact de l'acide sulfurique, on lave le précipité de sulfate de baryte plusieurs fois par décantation, puis on le jette sur un filtre et on achève le lavage. Après avoir séché et brûlé le papier, on calcine fortement le précipité et on le met en digestion dans de l'eau contenant un peu d'acide chlorhydrique et de chlorure de baryum, on lave de nouveau le précipité, on le sèche, on le calcine et on le pèse.

Nous devons ajouter que la potasse et la soude ne sont pas les seules bases qui se comportent de cette manière, et que dans le dosage du soufre à l'état de sulfate de baryte il faut toujours avoir égard aux sels contenus dans la dissolution.

En opérant sur des quantités pesées de soufre bien pur, nous avons obtenu dans toutes nos expériences des poids de sulfate de baryte parfaitement concordants avec ceux calculés d'après les quantités de soufre employées et les équivalents généralement admis.

Cette action oxydante du chlore dans les dissolutions alcalines nous paraît bien supérieure, pour le dosage du soufre libre, à tous les procédés proposés jusqu'à présent. Elle conduit rapidement au résultat et ne présente aucune cause de perte ou d'erreur.

Elle a une grande importance pour le dosage certain du soufre dans les soufres bruts et dans le soufre du commerce. On sait, en effet, que les deux procédés ordinaires de dosage du soufre dans les minerais métalliques, l'emploi de l'eau régale, la fusion avec du nitre et du carbonate de soude, ne peuvent pas s'appliquer à l'oxydation complète d'une certaine quantité de soufre libre. Nous en avons fait plusieurs fois l'expérience au Bureau d'essais de l'École des Mines.

## § 2. *Matières organiques.*

La plupart des matières organiques, notamment le papier et plusieurs espèces de combustibles minéraux mis en digestion dans une dissolution alcaline chaude et concentrée, disparaissent rapidement sous l'influence d'un courant de chlore (1).

Cette oxydation rapide est très-commode dans un grand nombre de circonstances dont nous signalerons les principales. Ainsi elle permet de doser exactement le soufre dans quelques combustibles, dans les matières

(1) La condition principale de réussite est que le combustible puisse être réduit en poudre impalpable. Sans cela on observe un dégagement d'oxygène, et l'action oxydante est faible.

organiques : par son emploi, on peut dans certains cas se débarrasser du papier des filtres en évitant de recourir à un grillage qui donne souvent lieu à des pertes notables.

*Exemples.* — Nous prendrons en premier lieu l'action du chlore sur le papier en présence de la potasse ou de la soude.

Le papier à filtre, mis dans une dissolution chaude et moyennement concentrée de potasse, éprouve des altérations profondes, mais ne se dissout pas. Si l'on fait arriver du chlore dans la liqueur, on voit au bout de quelques minutes le papier se mettre en lambeaux et disparaître complétement. Presque toujours cette action est accompagnée d'un dégagement de gaz prenant naissance au contact du papier et le soulevant par places au-dessus du liquide.

On obtient ainsi une liqueur bien claire ou troublée seulement par les matières minérales contenues dans la pâte du papier, et ne renfermant aucune substance organique nuisible dans les diverses opérations analytiques qu'on peut avoir à faire ultérieurement.

Si l'on traite de cette manière un filtre contenant des matières minérales, elles subissent de la part du chlore et de l'alcali les mêmes transformations qu'en l'absence du papier.

Nous citerons plus loin quelques exemples de l'application de cette action oxydante dans les analyses.

*Second exemple.* — *Caoutchouc.* — Le caoutchouc ne se comporte pas avec le chlore et la potasse aussi nettement que le papier. Nous avions cependant grand intérêt à obtenir pour cette matière le dosage exact du soufre par l'emploi du chlore, parce que les méthodes ordinaires sont tout à fait inapplicables.

La difficuté à l'application directe du procédé provient de ce que le caoutchouc ne se dissout complétement, ni

dans les alcalis seuls, ni dans les alcalis en présence du chlore. Nous avons dû recourir à l'action de l'acide azotique concentré bouillant, qui désagrége et transforme assez facilement le caoutchouc en une matière complétement soluble dans la potasse. La dissolution alcaline n'est pas troublée par les acides, mais elle donne avec les dissolutions métalliques, des précipités qui contiennent des combinaisons des oxydes avec une matière résineuse. Le chlore produit également un précipité blanc.

Voyons maintenant de quelle manière ces réactions sont applicables au dosage du soufre et des métaux dans le caoutchouc vulcanisé, ordinaire et désulfuré.

La matière est traitée dans une grande fiole par l'acide azotique concentré : on fait chauffer et on prolonge l'action jusqu'à la désagrégation complète ; puis on étend d'eau et on ajoute un excès de potasse; dans la liqueur on fait passer un courant de chlore pendant une demi-heure environ : la dissolution du soufre à l'état d'acide sulfurique est alors bien complète. La partie insoluble contient les oxydes de plomb ou de zinc combinés avec la matière résineuse dont nous avons parlé précédemment. On lave par décantation la partie insoluble. Ce lavage est un peu long, mais facile, parce que le précipité est lourd, et se rassemble sans difficulté. Dans la liqueur, on dose le soufre en suivant la marche que nous avons indiquée pour la précipitation (1) et le dosage du sulfate de baryte.

La partie insoluble est dissoute dans l'acide acétique et les métaux sont précipités par l'hydrogène sulfuré.

(1) Il ne faut pas négliger le traitement par l'acide hydrochlorique et le chlorure de baryum après un long grillage, parce que le premier précipité contient de la baryte combinée avec une matière organique; sans cette précaution, on obtiendrait un poids trop fort de soufre.

Les sulfures sont ensuite traités par les méthodes que nous exposerons plus loin.

Dans le cas où il n'y a pas de substances métalliques, la résine précipitée par le chlore peut être dissoute dans l'acide chlorhydrique (qui la dissout complétement) sans nuire au dosage de l'acide sulfurique (1).

## § 3. *Sulfures et oxydes métalliques.*

L'action oxydante du chlore sur les sulfures et sur les oxydes métalliques, dans les dissolutions alcalines et acétiques, permet de doser très-exactement le soufre et plusieurs métaux. Nous allons indiquer la nature des produits qui prennent naissance avec ceux des sulfures et des oxydes qui se présentent le plus souvent, et citer quelques exemples d'analyses dans lesquelles l'emploi de ces réactions donne des résultats très-exacts. Nous ferons connaître en même temps les principales causes d'inexactitude dans les séparations et les dosages faits par les méthodes ordinaires, et celles que l'emploi du chlore permet d'éviter.

### Sulfure et oxyde de plomb.

*Dissolutions alcalines.* — Dans une dissolution chaude et un peu concentrée de potasse ou de soude, la galène porphyrisée et le sulfure de plomb obtenu par voie humide sont rapidement oxydés par le chlore. Le soufre se dissout en entier à l'état d'acide sulfurique; le plomb se dissout d'abord; mais bientôt la liqueur devient trouble et laisse déposer en quelques minutes la

(1) Nous avons également appliqué l'action du chlore dans une dissolution alcaline au dosage du soufre dans la poudre de guerre et de chasse; au bout d'une heure d'action, la dissolution du soufre est complète et le charbon est entièrement dissout. On obtient des résultats très-exacts.

totalité du métal à l'état d'oxyde puce. Le précipité est grenu, très-lourd et facile à laver.

L'action est très-rapide, il ne faut pas plus d'une demi-heure pour oxyder complétement 2 grammes de galène. C'est donc le plus rapide et le plus commode de tous les procédés indiqués jusqu'à présent pour attaquer la galène. C'est surtout le seul qui permette de séparer nettement le soufre et le plomb en amenant ces deux corps à des combinaisons très-favorables aux dosages.

Voyons, en effet, de quelle manière on peut doser le plomb et le soufre, après l'action du chlore. Après la filtration et le lavage de l'oxyde puce, on a dans la liqueur tout le soufre à l'état d'acide sulfurique, on le dose à l'état de sulfate de baryte. Pour le plomb, on sèche à une très-douce chaleur le filtre sur lequel on a reçu l'oxyde puce ; on détache du papier la plus grande partie du précipité, et on brûle le filtre dans une petite capsule tarée. L'oxyde puce resté adhérent au papier se transforme en protoxyde, dont on a la quantité en prenant la différence entre l'augmentation de poids de la capsule et le poids des cendres du papier.

Quant à la masse du précipité détachée du filtre, il suffit de la sécher à 100° et de la peser. La quantité de plomb contenue dans le minéral se déduit facilement des deux poids obtenus (1).

(1) Le plomb est ainsi déterminé en partie à l'état de protoxyde et en partie à l'état d'oxyde puce. Comme on est obligé de laver très-longtemps à l'eau bouillante, on peut craindre d'entraîner quelques parcelles du papier du filtre quand on détache le précipité. Cette considération nous a conduit à contrôler le résultat obtenu de la manière suivante : on ajoute l'oxyde puce dans la capsule qui a servi à brûler le filtre, et on chauffe jusqu'à la fusion ; tout l'oxyde puce est ainsi transformé en protoxyde dont le poids permet de calculer de nouveau la proportion de plomb contenue dans le minéral.

La seule cause d'erreur dans ce procédé de dosage est la réduction partielle de l'oxyde de plomb pendant le grillage du filtre. Son influence est très faible parce qu'il ne reste ordinairement adhérent au papier qu'un poids de 8 à 10 centigrammes d'oxyde puce. L'erreur que l'on commet en prenant l'augmentation de poids de la capsule pour du protoxyde de plomb est presque nulle quand on a soin de ne pas retrancher les cendres du papier.

L'erreur est du reste à peu près la même, quelles que soient les quantités sur lesquelles on opère, et par suite son influence sur l'exactitude du dosage est d'autant moindre qu'on fait l'analyse sur un poids plus grand de sulfure de plomb. Dans tous les cas, elle est inférieure à la perte que l'on éprouve en dosant le plomb à l'état de sulfate.

Examinons en effet ce procédé de dosage, qui est recommandé dans les traités d'analyse chimique.

Après avoir reçu le sulfure de plomb sur un filtre, il faut sécher ce dernier, et séparer ensuite autant que possible, le précipité du papier, que l'on brûle, et dont les cendres sont réunies au sulfure séparé. On traite alors le tout par l'acide nitrique, on ajoute un peu d'acide sulfurique et on évapore à sec en poussant progressivement la température jusqu'au rouge sombre, pour être certain de chasser tout l'excès d'acide sulfurique et d'obtenir le sulfate de plomb bien neutre.

Les causes de perte sont les suivantes :

1° Volatilisation du sulfure de plomb dans le grillage du papier, auquel une certaine portion du précipité reste adhérente. Le sulfure de plomb étant très-volatil, cette perte est toujours bien plus grande que celle produite par le grillage d'un filtre imprégné de bioxyde.

2° Projections dans l'évaporation à siccité, et entraî-

nement mécanique par les vapeurs acides. Cette cause de perte est variable avec les soins apportés à l'opération : on peut la rendre très-faible en ménageant beaucoup la température. Mais il faut, pour le dosage du plomb, un temps considérable, et une attention soutenue de la part de l'opérateur.

Les pertes sont au contraire très-grandes quand l'évaporation est conduite rapidement.

Enfin, pour faire ressortir tout l'avantage du procédé d'analyse que nous proposons pour le sulfure de plomb, nous devons rappeler que les méthodes proposées jusqu'à présent, s'appliquent difficilement au dosage du soufre en présence du plomb, tandis que par l'action du chlore, on peut doser facilement le soufre avec la plus grande exactitude dans la même attaque qui sert à la détermination du plomb.

#### Application à l'analyse d'une galène à gangue quartzeuse.

Le minerai, bien porphyrisé, est mis pendant quelques heures en digestion dans une dissolution chaude et un peu concentrée d'alcalis caustiques. On fait arriver un courant de chlore, jusqu'à la transformation complète du sulfure de plomb en peroxyde. Il faut de une demi-heure à trois quarts d'heure pour arriver à ce résultat, quand on opère sur 2 à 3 grammes de minerai. L'instant auquel on doit arrêter le courant de chlore est du reste nettement indiqué par l'aspect de la partie insoluble, qui prend alors la couleur bien caractéristique de l'oxyde puce de plomb. On étend d'eau, et lorsque le précipité est bien rassemblé, on lave à plusieurs reprises par décantation.

Dans la liqueur, on peut doser l'acide sulfurique en prenant les précautions que nous avons indiquées précédemment.

La partie insoluble contient le quartz et l'oxyde puce de plomb, on la traite par l'acide chlorhydrique faible et froid, qui dissout très-facilement l'oxyde puce (1) et laisse le quartz insoluble. On reçoit ce dernier sur un filtre, et après avoir bien lavé, on fait sécher le papier, on le brûle, et on pèse le quartz.

Dans la liqueur chlorhydrique, on sature l'acide par la potasse en excès, on fait arriver le courant de chlore, et on procède au dosage du plomb comme nous l'avons indiqué au commencement du paragraphe.

Ce procédé d'analyse est rapide, très-exact, et son application est facile.

*Acétates alcalins.* — Si l'on fait agir le chlore sur du sulfure de plomb mis en suspension dans une dissolution acétique renfermant un acétate alcalin, le plomb s'oxyde et se dissout assez bien, mais le soufre ne passe que très-lentement à l'état d'acide sulfurique, et tant que le soufre n'est pas dissous en totalité, il ne se forme pas de peroxyde de plomb.

**Oxyde et carbonate de plomb.**

Étudions maintenant l'action du chlore sur l'oxyde et le carbonate de plomb, dans les deux conditions principales, c'est-à-dire dans une dissolution alcaline, et dans une liqueur acétique.

*Dissolutions alcalines.* — Dans une dissolution alca-

(1) L'acide concentré et chaud décompose le peroxyde de plomb avec dégagement d'oxygène et de chlore. L'acide étendu dissout sans dégagement de gaz, en donnant une liqueur rosée de laquelle les alcalis précipitent l'oxyde puce de plomb non altéré. Ce fait démontre l'existence d'un chlorure de plomb correspondant au peroxyde; en plaçant la liqueur acide sous le récipient de la machine pneumatique au-dessus d'une dissolution concentrée de potasse, on obtient des cristaux dont les uns sont du chlorure de plomb PbCl, mais dont les autres paraissent être le bichlorure.

line chauffée à 40° ou à 50°, l'oxyde et le carbonate de plomb sont oxydés très-rapidement, et transformés complétement en peroxyde, qui se sépare parfaitement pur et facile à laver. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

*Dissolution acétique.* — L'acétate de plomb, mis en dissolution avec un acétate alcalin (1) et de l'acide acétique en excès, est assez rapidement décomposé par le chlore à la température de 40° à 50°. Le plomb se transforme en oxyde puce qui se sépare, bien nettement insoluble dans la liqueur acide.

Il faut avoir soin de proportionner la quantité d'acétate alcalin, d'acide acétique libre et de chlore, à la quantité de plomb qu'il s'agit de précipiter. L'action serait très-longue si pour un poids très-faible de plomb on employait un grand excès des autres réactifs.

La netteté et la rapidité de ce procédé permettent de séparer très-exactement et en peu de temps le plomb d'un certain nombre de métaux.

Nous l'avons employé pour séparer l'oxyde de plomb des alcalis, des terres alcalines, des terres, des oxydes de zinc, de nickel et de cuivre.

Pour les premiers, la méthode ordinaire, qui emploie l'hydrogène sulfuré, est très-exacte, mais plus longue dans certains cas, et moins commode pour les dosages ; mais pour les derniers, c'est-à-dire pour les oxydes de zinc, de nickel et de cuivre, on n'avait pas indiqué jusqu'à présent de procédé exact de séparation.

Nous croyons nécessaire de développer cette assertion.

---

(1) La même action a lieu avec les acétates de toutes les bases fortes qui ne sont pas susceptibles de se peroxyder par le chlore en présence de l'acide acétique en excès.

Pour séparer le plomb du cuivre, on ne peut, en général, s'appuyer que sur l'insolubilité du sulfate de plomb. Il faut précipiter les deux métaux à l'état de sulfures, et transformer les sulfures en sulfates, au moyen de l'acide azotique et de l'acide sulfurique. Il faut ensuite évaporer à sec et chauffer jusqu'au rouge sombre, afin de chasser l'excès des acides. On reprend ensuite par l'eau pour dissoudre le sulfate de cuivre, en laissant insoluble le sulfate de plomb.

Nous avons déjà signalé précédemment, comme causes d'erreur dans ce moyen de dosage du plomb, la volatilisation dans le grillage du filtre, ainsi que les pertes produites dans l'évaporation à sec et dans la calcination.

A ces deux causes, il faut ajouter les deux suivantes :

1° Dans la calcination, on doit chauffer au point de volatiliser tout l'acide sulfurique en excès, et il faut éviter en même temps que la température puisse, en aucun point de la masse, s'élever jusqu'au degré auquel commence la décomposition du sulfate de cuivre : c'est une condition difficile à remplir ;

2° En supposant même qu'on ait bien réussi dans cette calcination, il faut encore remarquer que le sulfate de plomb n'est pas complétement insoluble dans l'eau.

De là résulte l'impossibilité de dissoudre tout le sulfate de cuivre, sans dissoudre en même temps un peu de sulfate de plomb.

Une longue expérience de ce procédé de séparation nous permet d'affirmer que les pertes ne s'élèvent pas ordinairement à moins de 10 p. 100 du plomb qui doit être dosé.

Quand on doit séparer le plomb du zinc et du nickel, l'hydrogène sulfuré ne peut donner de bons résultats, parce que le plomb n'est complétement précipité par

cet agent que dans une liqueur froide, étendue et très-peu acide; et dans ces conditions, l'hydrogène sulfuré précipite presque complétement le zinc, et partiellement le nickel.

Il faut donc recourir encore, pour la séparation de ces métaux et du plomb, à l'insolubilité du sulfate de plomb, et nous aurions à répéter les mêmes considérations que nous avons exposées pour le cuivre.

L'action du chlore dans une liqueur acétique donne la séparation bien nette du plomb et des métaux dont nous venons de parler. Elle permet, en outre, d'isoler de suite le plomb à l'état d'oxyde puce, et d'arriver rapidement à son dosage en suivant la marche que nous avons indiquée précédemment.

Cette méthode, très-générale, permet de séparer le plomb des métaux dont les oxydes sont des bases assez fortes pour former des sels solubles et stables avec l'acide acétique.

*Bioxyde de plomb.* — Nous avons conseillé pour les analyses la transformation du plomb en bioxyde par l'action du chlore dans une liqueur alcaline, chauffée à 40° ou 50°, et modérément concentrée; il ne faut jamais négliger ces deux conditions, parce que c'est seulement à cette température et dans une dissolution un peu étendue que la séparation de l'oxyde puce est complète.

Quand on opère à froid, par exemple, quand on fait passer du chlore dans une dissolution de protoxyde de plomb dans la potasse, on obtient d'abord un précipité jaunâtre, qui se dissout ensuite complétement, pourvu que l'alcali soit en excès suffisant. La dissolution un peu verdâtre est stable, et n'est pas troublée par le chlore en excès. Exposée à l'air pendant quelque temps, elle devient d'un rouge brique pâle; cette colo-

ration commence par la surface et se produit d'autant plus lentement que l'alcali non saturé par le chlore est en plus grand excès.

Elle disparaît par l'addition d'un alcali ; cependant nous ne voulons pas, dans le présent mémoire, attribuer trop d'importance à ces changements de couleurs, qui pourraient être expliqués par la présence d'un peu de manganèse, entraîné à l'état de chlorure par le dégagement rapide du chlore.

La liqueur contient le plomb à l'état de bioxyde, se comportant comme acide avec les bases fortes, ainsi que M. Frémy l'a déjà annoncé. Les réactions suivantes nous semblent prouver que l'état d'oxydation du plomb ne peut être ni supérieur ni inférieur au bioxyde.

L'eau de baryte, employée en excès, donne un précipité blanc qui peut être lavé facilement par décantation, et devient jaune par un lavage prolongé, sans qu'on puisse observer de dégagement de gaz pendant le changement de couleur. Le précipité contient, au moment de sa production, du chlorate de baryte, de la baryte, un composé de bioxyde de plomb et de baryte, et du carbonate de baryte : ce dernier sel provient du carbonate de potasse existant dans l'alcali employé et de celui formé par l'absorption de l'acide carbonique de l'air. Par un lavage long à froid, on dissout la baryte et le chlorate de baryte, et par là on met plus en évidence la couleur jaune, propre à la combinaison de l'oxyde de plomb avec la terre alcaline.

Le précipité, devenu jaune, traité par un acide étendu, par exemple, par l'acide azotique, fait une vive effervescence, donne de l'azotate de baryte et de l'oxyde puce de plomb insoluble dans l'acide étendu.

La liqueur azotique, ne contenant pas trace de plomb, on est bien certain que la combinaison, formée avec la

baryte, ne contient pas un oxyde inférieur au bioxyde.

Le gaz, dégagé par l'action de l'acide azotique, recueilli sur le mercure, est complétement absorbé par la potasse, et ne renferme pas d'oxygène libre. Le composé barytique ne peut donc pas contenir le plomb à un degré d'oxydation supérieur au bioxyde.

Enfin, comme vérification, quand on traite le bichlorure de plomb par une petite quantité de potasse, on obtient un précipité brun de bioxyde qui se dissout entièrement dans un excès d'alcali. La dissolution présente les mêmes caractères que celle obtenue par l'action du chlore.

L'oxyde puce de plomb peut donc se comporter comme acide avec les bases fortes : avec les alcalis, il forme des composés solubles, au moins, dans un excès d'alcali et en présence des sels alcalins. Il forme des composés insolubles avec les terres alcalines.

Son énergie acide est très-faible, il peut être lentement déplacé par l'acide carbonique de l'air; sa combinaison avec les alcalis a lieu directement quand il a été récemment précipité à froid. L'oxyde obtenu à 40 ou 50°, en petites paillettes brunes, est insoluble dans les alcalis.

*Résumé.*—Le chlore transforme rapidement le plomb en peroxyde dans les circonstances suivantes : quand le sulfure est en digestion dans une liqueur chaude contenant des alcalis caustiques :

Quand l'oxyde ou le carbonate de plomb sont chauffés dans une dissolution d'alcalis ou de carbonates alcalins, ou dans une liqueur acétique contenant une base forte.

La première réaction sur le sulfure donne le moyen d'analyser très-rapidement la galène, et de doser dans une seule attaque, avec exactitude, le plomb et le soufre.

La seconde conduit à une méthode assez générale

pour la séparation de l'oxyde de plomb, de plusieurs oxydes métalliques, des terres alcalines et des alcalis.

Le bioxyde de plomb se comporte comme acide faible avec les bases fortes; les combinaisons avec les alcalis peuvent se produire à froid, par l'action du chlore, dans une dissolution alcaline concentrée, contenant le protoxyde de plomb; elles ne peuvent pas se former à chaud dans des liqueurs un peu étendues.

#### Oxyde et sulfure de fer.

*Alcalis.* — Considérons d'abord une dissolution de peroxyde de fer, dans laquelle on ajoute un grand excès de potasse. Sur le précipité obtenu, on fait agir le chlore après avoir chauffé à 30 ou 40°. Le fer ne tarde pas à se dissoudre, en donnant à la liqueur une couleur rouge extrêmement foncée.

Cette réaction a été étudiée déjà par plusieurs chimistes, parmi lesquels nous citerons M. Frémy et M. H. Rose. On attribue la dissolution du fer à la formation d'un acide ferrique analogue à l'acide manganique, produisant avec la potasse un sel rouge soluble.

L'action du chlore ne donne pas toujours naissance à l'acide ferrique, et les circonstances dans lesquelles cet acide ne peut pas se former sont très-importantes à étudier, parce que son instabilité le rend très-incommode dans les analyses.

*Premier cas.* — Si la fiole dans laquelle on a précipité le fer, et dans laquelle on fait arriver le chlore, est maintenue à une température inférieure à 0°, le peroxyde de fer prend une couleur plus foncée, mais ne passe pas à l'état d'acide ferrique. Si on laisse ensuite le précipité et la liqueur revenir à la température ordinaire, on voit le précipité disparaître progressivement et la liqueur se colorer en rouge.

Si l'on décante la liqueur de suite avant de laisser la température s'élever, le précipité brun reste inaltéré dans l'eau pure et aussi dans une dissolution de potasse.

Nous concluons de là que le peroxyde de fer ne subit pas de transformation en acide ferrique par le chlore en présence des alcalis, quand la température est abaissée au-dessous de 0°. Il nous a, d'ailleurs, été impossible de constater, par une réaction certaine, une suroxydation du sesquioxyde de fer. L'action oxydante ne devient manifeste qu'à 10 ou 15°, et alors le fer passe de suite à l'état acide.

*Second cas.* — Quand on fait agir le chlore, non plus sur le peroxyde de fer seul, mais sur un mélange de cet oxyde avec d'autres oxydes métalliques, avec du quartz pulvérisé, etc., conditions qui se présentent presque toujours dans les analyses des minerais, on peut opérer à la température de 40 à 50°, sans qu'il se produise d'acide ferrique. Ce fait s'explique aisément par la décomposition du ferrate de potasse, par les corps divisés, par le quartz, la plupart des oxydes métalliques, décomposition d'autant plus rapide que la température est plus élevée.

Ce qui précède indique que dans les analyses des minerais, dans lesquelles l'emploi du chlore, comme oxydant, peut être commode, il faut avoir soin d'opérer à une température un peu élevée, et d'ajouter une certaine quantité de sable quartzeux, si le minerai n'en contient pas une proportion suffisante, ou bien si l'action oxydante ne produit pas assez d'oxydes pour empêcher la formation du ferrate alcalin.

*Sulfures de fer.* — Considérons maintenant l'action du chlore sur les sulfures de fer.

Le sulfure de fer préparé par voie humide, mis en

digestion dans une dissolution alcaline, est rapidement attaqué par le chlore; le soufre se dissout en entier à l'état d'acide sulfurique, et quand son oxydation est complète, le fer passe, au moins en partie dans le cas où la température est convenable, à l'état de ferrate alcalin.

Les pyrites de fer ne se comportent pas toujours comme le sulfure préparé par voie humide. Ainsi, la pyrite ordinaire, pulvérisée, mais non porphyrisée, n'est attaquée que très-peu par le chlore dans une dissolution alcaline, et détermine, à la température de 50 à 60°, un dégagement d'oxygène d'autant plus vif qu'on fait arriver le chlore plus rapidement.

Ce dégagement d'oxygène peut durer plusieurs heures, sans qu'on cesse d'apercevoir au fond de la fiole les grains brillants de la pyrite.

Au contraire, ce minéral, bien porphyrisé, mis pendant douze heures en digestion dans une dissolution alcaline un peu concentrée, est ensuite attaqué par le chlore moins rapidement, mais aussi complétement que le sulfure artificiel.

Assez ordinairement, la pyrite est accompagnée d'une gangue quartzeuse qui empêche la production du ferrate alcalin, en sorte qu'on obtient, d'un côté, quartz et oxyde de fer, et de l'autre, acide sulfurique combiné avec l'alcali.

On peut donc employer l'action du chlore dans une dissolution alcaline pour analyser les pyrites de fer; mais il faut avoir la précaution de bien porphyriser, et d'ajouter du quartz dans le cas où le minerai n'en contient pas assez pour empêcher la formation du ferrate. Nous n'avons pas besoin d'insister sur les détails de l'analyse.

*Carbonates alcalins.* — Considérons d'abord l'action du chlore sur l'oxyde de fer, récemment précipité par un grand excès de carbonate alcalin. Si l'on chauffe la liqueur à 50 ou 60°, l'oxyde de fer ne paraît pas s'oxyder, ou, du moins, il ne donne pas d'acide ferrique : le fer reste en entier insoluble.

L'action oxydante du chlore sur l'oxyde de fer, en présence des carbonates alcalins, ne donne donc pas les mêmes produits qu'en présence des alcalis caustiques ; on doit l'attribuer en même temps à une moindre énergie d'action oxydante, et à la difficulté avec laquelle se forme l'acide ferrique, qui ne peut prendre naissance que sous l'influence d'une base énergique et libre.

Les sulfures de fer ne sont attaqués que très-incomplétement par le chlore en présence des carbonates alcalins.

*Dissolutions acétiques.* — On peut obtenir assez facilement le peroxyde de fer en dissolution dans l'acide acétique, en précipitant le perchlorure de fer par un excès de carbonate de soude, et ajoutant assez d'acide acétique pour redissoudre le précipité formé (1).

Si dans la liqueur acide, ainsi obtenue, chauffée à 30 ou 40°, on fait passer un courant de chlore, le fer reste en dissolution, en sorte que l'action de ce gaz sur l'oxyde paraît nulle. Quand au contraire on porte la liqueur à 90° environ, le fer se précipite à peu près complétement.

(1) On ne peut pas employer dans ce but la potasse caustique, parce que le précipité contient une combinaison de peroxyde de fer et d'alcali, qui n'est pas facilement décomposée par l'acide acétique. Le carbonate de potasse est moins pur que le carbonate de soude, ce qui doit faire donner la préférence à ce dernier.

La stabilité de la dissolution acétique en présence du chlore, à une température modérée, nous avait fait concevoir l'espérance de séparer facilement le fer du plomb, par la même réaction qui nous sert à séparer ce dernier métal du zinc, des terres alcalines, etc., c'est-à-dire par l'action du chlore dans une dissolution acétique. Mais nous avons été trompés dans notre attente. Dans plusieurs expériences faites dans ce but nous avons obtenu un précipité brun contenant du bioxyde de plomb et de l'oxyde de fer, tandis que la liqueur contenait une proportion assez notable du plomb et le reste du fer.

La proportion du plomb précipitée est d'autant plus forte que la température est plus élevée, et que le chlore agit plus longtemps; mais la quantité d'oxyde de fer séparée en même temps est aussi d'autant plus grande.

Il est également impossible de séparer le fer du manganèse par l'action du chlore dans une dissolution acétique. L'oxyde de manganèse entraîne toujours une certaine proportion d'oxyde de fer.

*Résumé.* — Quand on fait agir le chlore sur du peroxyde de fer, en suspension dans une liqueur alcaline concentrée, chauffée modérément, le fer passe en entier à l'état de ferrate soluble.

Ce composé ne se produit pas quand on opère à une température inférieure à o°, ou bien quand du quartz en poudre, ou certains oxydes métalliques sont mélangés au peroxyde de fer. Dans ce dernier cas, on est d'autant plus sûr d'éviter la formation du ferrate qu'on opère à une température plus élevée.

La pyrite de fer n'est pas facilement attaqué par le chlore en présence des alcalis; quand le minéral n'est

pas bien porphyrisé, et quand il est mélangé avec du quartz, on obtient un vif dégagement d'oxygène.

Le chlore en présence des carbonates alcalins n'a pas une action oxydante énergique.

Le peroxyde de fer dissous dans l'acide acétique ne paraît pas être altéré par le chlore; il reste en dissolution stable tant qu'on n'élève pas trop la température.

Si la dissolution acétique contient des oxydes de plomb et de manganèse, l'action du chlore précipite toujours une certaine quantité d'oxyde de fer en même temps que les peroxydes de plomb et de manganèse.

### Oxydes de manganèse.

Les oxydes naturels de manganèse, porphyrisés, chauffés dans une dissolution concentrée de potasse ou de soude, sont oxydés lentement par le chlore et donnent du permanganate alcalin. Dans les mêmes circonstances l'oxyde préparé par voie humide est attaqué beaucoup plus facilement, et passe complétement à l'état d'acide permanganique.

Si l'expérience est faite au-dessous de 0°, on n'obtient pas d'acide du manganèse, mais seulement un composé brun qui paraît être un oxyde hydraté. Si ensuite on laisse la température s'élever progressivement jusqu'à 15 ou 20°, on voit la liqueur renfermant un excès d'alcali se colorer progressivement en vert foncé, c'est-à-dire que l'oxydation se fait par les sels contenus en dissolution, à mesure que la température s'élève un peu. Quelques bulles de chlore suffisent pour transformer le manganate vert en permanganate rouge.

Quand on opère à 40 ou 50° sur l'oxyde de manganèse mélangé avec du quartz et certains oxydes métalliques, principalement ceux de cuivre et de cobalt, la formation de permanganate ne peut être obtenue que

plus difficilement ; cependant la décomposition du sel par ces corps est moins rapide et surtout moins complète que celle du ferrate.

*Carbonates alcalins.* — Dans les dissolutions de carbonates alcalins, l'action du chlore est bien moins énergique ; cependant elle fait encore passer les oxydes de manganèse à l'état d'acide permanganique, au moins en partie.

*Dissolutions acétiques.* — Si l'on fait arriver un courant de chlore dans une dissolution acide, contenant un acétate alcalin et de l'acétate de manganèse, la liqueur ne tarde pas à se troubler, et laisse déposer en peu de temps tout le manganèse à l'état de bioxyde.

Le précipité est presque noir, très-lourd et très-facile à laver.

Cette action, aussi nette que celle que nous avons indiquée pour le plomb, est d'autant plus rapide qu'on chauffe davantage. On la réussit très-bien à la température de 40 à 50°.

Elle fournit un excellent moyen de séparation du manganèse des terres alcalines, des terres et même d'un certain nombre d'oxydes métalliques. Mais elle est applicable exclusivement aux séparations du manganèse de ceux des métaux dont les oxydes sont des bases assez fortes pour former des sels stables avec l'acide acétique, et de plus n'ayant aucune tendance à se peroxyder.

On ne peut pas séparer le fer du manganèse par l'action du chlore dans la dissolution acétique des deux oxydes ; le fer se précipite toujours en partie avec le manganèse ; souvent même une partie du manganèse se trouve en dissolution avec le reste du fer. On voit d'après cela que le manganèse et le plomb se comportent de la même manière avec le chlore dans une liqueur acétique.

### Oxyde et sulfure de zinc.

*Alcalis.* — Considérons en premier lieu une dissolution alcaline contenant de l'oxyde de zinc ; le chlore amené en quantité suffisante pour saturer l'alcali sépare tout l'oxyde de zinc, anhydre ou hydraté, suivant la température et le degré de concentration de la liqueur.

Nous n'avons observé, dans cette séparation de l'oxyde de zinc, aucun phénomène qui nous permette de l'attribuer à une suroxydation, à la formation, même momentanée, du bioxyde préparé par M. Thénard.

Le sulfure de zinc, mis en digestion dans une dissolution chaude et concentrée de potasse, est rapidement attaqué par le chlore ; le soufre se dissout à l'état d'acide sulfurique, le zinc est dissous ou indissous suivant la proportion de chlore qu'on fait agir.

Si l'on interrompt le courant de chlore quand le soufre est dissous, et quand la liqueur contient encore un assez grand excès d'alcali, la plus grande partie, sinon la totalité du zinc, est en dissolution. Si au contraire on continue l'action du chlore jusqu'à la saturation complète de l'alcali, l'oxyde de zinc est entièrement précipité.

*Carbonates alcalins.* — En répétant la même expérience avec des carbonates alcalins, on n'arrive pas à l'acidification complète du soufre, ni même à l'attaque complète de la blende.

Nous devons signaler une réaction assez singulière que présente le chlore avec l'hydrocarbonate de zinc, obtenu par une dissolution de carbonate alcalin versée en grand excès dans une dissolution de zinc. Quand on opère à froid, l'action du chlore paraît se porter principalement sur l'oxyde de zinc, et la liqueur contient un sel double de zinc qui ne peut être décomposé que

par ébullition avec un excès de carbonate alcalin. Nous verrons le même fait se présenter avec les oxydes de cobalt, de nickel et de cuivre, avec la différence que les sels doubles formés par ces métaux sont encore plus stables que ceux du zinc.

*Liqueur acétique.* — Dans une dissolution acétique renfermant un acétate alcalin, l'oxyde de zinc reste en dissolution bien stable, quel que soit l'excès de chlore employé, à chaud comme à froid.

Cette réaction permet de séparer nettement le zinc du plomb et du manganèse.

*Application.* — Pour montrer de quelle manière les actions du chlore peuvent servir dans les analyses, nous prendrons un exemple, celui d'un minerai de zinc contenant du plomb et du fer, blende accompagnée de pyrite et de galène, avec une gangue quartzeuse et calcaire.

Ce minerai se rencontre fréquemment et son analyse exacte est assez difficile.

Trois grammes de minerai bien porphyrisé sont mis en digestion, pendant quelques heures, dans une dissolution chaude et un peu concentrée de potasse. On fait ensuite arriver un courant de chlore, jusqu'à ce que le soufre soit entièrement dissous et jusqu'à ce que la liqueur ait une très-légère odeur de chlore. A ce moment le soufre est en entier à l'état d'acide sulfurique. Tous les métaux sont insolubles et à l'état d'oxydes. On filtre et on lave la partie insoluble tant que les eaux de lavage entraînent encore de l'acide sulfurique.

La liqueur contient tout le soufre à l'état de sulfate de potasse; on le dose comme nous l'avons précédemment indiqué.

Sur le filtre se trouvent les gangues quartzeuse et

calcaire, et les trois métaux : fer, zinc et plomb à l'état d'oxydes.

Sur le filtre même, on traite le mélange par l'acide chlorhydrique étendu d'eau et presque froid ; on dissout très-facilement les oxydes (1) et le calcaire. Après avoir bien lavé, on grille le filtre et on pèse le quartz. Dans la liqueur acide on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré, en ajoutant assez d'eau pour que le plomb précipite complétement à l'état de sulfure. On filtre et on lave ; la liqueur renferme tout le fer, toute la chaux et seulement une partie du zinc. Le précipité contient tout le plomb et une portion de zinc d'autant plus grande qu'on a plus étendu la liqueur avant d'y faire passer l'hydrogène sulfuré. On pourrait même arriver à précipiter tout le zinc avec le plomb; mais comme ce résultat ne peut pas être toujours obtenu d'une manière certaine, nous considérerons le cas le plus ordinaire, celui où la liqueur renferme encore du zinc.

Pour séparer le fer et le zinc de la chaux, on doit profiter de l'hydrogène sulfuré que la liqueur contient en dissolution. En saturant l'acide par l'ammoniaque, on précipite les deux métaux à l'état de sulfures. La chaux reste seule dissoute; on la dose par les méthodes ordinaires.

Les sulfures de fer et de zinc sont dissous dans l'eau régale; on sépare le soufre indissous, on peroxyde le fer par le chlore et on le précipite par l'ammoniaque.

Le peroxyde de fer entraîne toujours un peu d'oxyde de zinc; pour le séparer, il faut dissoudre les deux oxydes dans l'acide azotique, évaporer doucement à

(1) Le plomb est à l'état de bioxyde très-facilement soluble dans l'acide étendu et froid.

sec et calciner à la température de 150° environ, nécessaire pour décomposer complétement l'azotate de peroxyde de fer. On fait ensuite chauffer pendant plusieurs heures avec un sel ammoniacal et de l'ammoniaque, ce qui dissout tout l'oxyde de zinc, en laissant insoluble le peroxyde de fer bien pur (1).

On réunit les deux liqueurs ammoniacales contenant du zinc, mais on attend pour précipiter le métal qu'on ait séparé le reste du zinc ou du plomb.

Considérons maintenant le précipité de sulfures de plomb et de zinc donné par l'hydrogène sulfuré; on le détache autant que possible du filtre. Le papier est mis en digestion dans une dissolution chaude de potasse, puis détruit par un courant de chlore. Quand la matière organique a disparu, on met dans la liqueur les sulfures séparés du filtre; on ajoute une certaine quantité de potasse et on fait agir de nouveau le chlore, jusqu'à la transformation complète des sulfures en oxydes. Les deux métaux sont alors indissous, le plomb à l'état de bioxyde, le zinc à l'état d'*oxyde*. On les lave à deux ou trois reprises par décantation, puis on les met en digestion dans l'acide acétique; le peroxyde de plomb reste bien insoluble, tandis que l'oxyde de zinc se dissout. On dose le plomb comme nous l'avons indiqué précédemment.

A la liqueur acétique contenant le zinc, on ajoute la dissolution ammoniacale, qui renferme la partie de ce métal non précipitée par l'hydrogène sulfuré. On ajoute, si cela est nécessaire, assez d'acide acétique pour que la liqueur soit acide, et on précipite le zinc à l'état de sulfure par l'hydrogène sulfuré.

(1) Procédé indiqué par M. H. Sainte-Claire-Deville.

Le sulfure est bien lavé, séché et grillé; on dose le zinc à l'état d'oxyde (1).

### Oxyde et sulfure de cuivre.

*Alcalis caustiques.* — L'action du chlore sur l'oxyde de cuivre hydraté, en présence des alcalis caustiques, est assez difficile à comprendre, mais en même temps importante à constater, parce qu'elle peut être employée très-utilement dans les analyses.

Considérons d'abord une dissolution de cuivre renfermant l'oxyde CuO, dans laquelle on verse progressivement une dissolution moyennement concentrée de potasse. Les deux liqueurs étant à la température ordinaire, on obtient un précipité bleu verdâtre, dont la couleur et la composition dépendent du degré de concentration et de l'excès de la dissolution de potasse. Dans la liqueur contenant le précipité en suspension, on fait arriver un courant de chlore; on voit l'oxyde de cuivre changer rapidement d'état et devenir progressivement noir, grenu et très-lourd. Le même fait se présente à toute température. Quand on opère à 30 ou 40°, ou a une température supérieure; on observe, au bout d'un certain temps, un dégagement très-abondant

---

(1) Cette méthode d'analyse conduit à des séparations bien nettes et ne demande pas une très-grande habileté de la part de l'opérateur. On peut la modifier dans sa dernière partie, c'est-à-dire pour la séparation du plomb et du zinc. Quand on a transformé les sulfures en oxydes, au lieu de traiter par l'acide acétique, on peut dissoudre dans l'acide chlorhydrique, saturer par la potasse, puis ajouter de l'acide acétique, et enfin obtenir la séparation par l'action du chlore dans une liqueur acétique.

Cette modification rend l'analyse un peu plus longue, mais elle serait utile dans le cas où la quantité de plomb serait un peu considérable, parce qu'alors on ne serait pas certain de dissoudre tout l'oxyde de zinc, en présence d'une forte proportion de peroxyde de plomb.

d'oxygène, dont la rapidité est en rapport avec celle de l'arrivée du chlore, et qui persiste longtemps, avec une rapidité décroissante, après qu'on a cessé le courant de chlore.

Quand on opère à froid et qu'on laisse l'oxyde de cuivre dans la liqueur, après avoir interrompu le courant de chlore, on observe au bout d'un certain temps un dégagement de bulles qui peut durer plusieurs jours. Il se manifeste encore, après qu'on a lavé l'oxyde de cuivre par décantation, à cinq ou six reprises.

Il faut considérer dans ce phénomène trois points principaux : 1° le dégagement rapide d'oxygène pendant et peu de temps après l'action du chlore ; 2° le dégagement lent et continu de bulles se formant au sein de l'oxyde de cuivre, qui se continue pendant plusieurs jours à la température ordinaire, et se manifeste dans le cas même où l'effervescence d'oxygène n'a pas eu lieu pendant l'action du chlore, dans le cas encore où on a lavé l'oxyde par décantation ; 3° enfin et surtout il faut expliquer le changement de l'oxyde de cuivre, passant de l'état gélatineux et hydraté à l'état noir et grenu, et cela aussi bien à une température très-basse qu'à une température voisine de l'ébullition.

*Dégagement rapide d'oxygène.* — Le dégagement d'oxygène qui a lieu pendant qu'on fait arriver le chlore dans la liqueur est d'autant plus intense que la température est plus élevée, la dissolution de potasse plus concentrée et que le chlore a déjà été mis en œuvre pendant plus longtemps. Il est produit évidemment par une action catalytique de l'oxyde de cuivre sur les sels oxygénés du chlore contenus dans la liqueur. Nous avons indiqué déjà précédemment que l'oxyde de cuivre n'est pas la seule substance qui ait cette propriété ; le quartz pulvérisé la possède, bien qu'à un degré moins

prononcé. Il en est de même de la magnésie, des de nickel et oxydes de cobalt, de certains minéraux pulvérisés, etc.

*Dégagement lent des bulles.* — Le dégagement lent de bulles est observé dans deux circonstances et présente dans les deux cas la même apparence. Il a lieu après l'effervescence d'oxygène dont nous venons de parler, quand on laisse l'oxyde noir de cuivre en contact avec la liqueur chargée de sels et revenue à la température ordinaire, et encore quand on a opéré à froid et cessé l'action du chlore avant que l'effervescence d'oxygène ait eu lieu.

Dans les deux cas il dure plusieurs jours et persiste après des lavages par décantation, bien qu'il n'ait plus alors la même intensité. Nous devons ajouter comme complément de ce phénomène, que l'oxyde de cuivre lavé par décantation donne une odeur de chlore très-sensible, quand on le traite par l'acide hydrochlorique; qu'il devient moins grenu et que sa couleur tourne un peu au brun.

Le dégagement lent de bulles peut être expliqué de deux manières : 1° par la décomposition lente d'un oxyde plus oxygéné du cuivre, qui se serait formé par l'action du chlore sur l'alcali; 2° par la décomposition lente des sels oxygénés du chlore, dont l'oxyde de cuivre $CuO$, matière essentiellement poreuse, reste imprégnée même après plusieurs lavages.

La première hypothèse, celle d'une suroxydation du cuivre, ne nous paraît pas jusqu'ici devoir être admise; en effet, l'oxyde de cuivre lavé rapidement, traité par l'acide chlorhydrique ne dégage toujours que de faibles quantités de chlore, absolument comme celui qui a été lavé lentement, par le même nombre de décantations et en employant à peu près la même quantité d'eau.

Cependant, si ce dégagement provenait de la décomposition lente d'un suroxyde de cuivre, cet oxyde lavé rapidement devrait contenir encore une proportion appréciable d'oxygène et produire par l'acide chlorhydrique une quantité de chlore beaucoup plus grande que l'oxyde lavé lentement, et qui a dégagé beaucoup plus de bulles de gaz.

La seconde explication, celle d'une décomposition lente des sels oxygénés du chlore, dont l'oxyde de cuivre est imprégné, nous paraît beaucoup plus simple et plus rationnelle. On est conduit à l'adopter en suivant la diminution progressive de l'intensité du dégagement des bulles, depuis le moment où l'oxygène produit une véritable effervescence jusqu'au moment où, après plusieurs jours et plusieurs lavages, son intensité est presque nulle. Cette explication s'accorde parfaitement avec la difficulté que l'oxyde de cuivre oppose aux lavages, même à ceux faits à l'eau bouillante, et avec sa faculté bien constatée de décomposer vivement les sels oxygénés du chlore, quand la dissolution est concentrée et la température élevée à 40 ou 50°.

*Cause du changement d'état.* — Arrivons enfin au point le plus important, et cherchons quelle peut être la cause du changement d'état de l'oxyde de cuivre qui, précipité par la potasse à l'état d'hydrate, devient noir et par suite anhydre, sous l'action du chlore.

Ce changement se présente à la température ordinaire et même à une température voisine de 0°.

Il paraîtrait assez simple d'admettre une suroxydation sous l'influence du chlore; mais nous n'avons jamais trouvé dans l'oxyde lavé rapidement à froid une seule réaction qui nous permît de supposer qu'il contient plus d'oxygène que l'oxyde $CuO$. Le gaz qui se dégage lentement dans le lavage ne prouve pas du tout

qu'il y ait eu suroxydation suivie de décomposition, et nous avons indiqué plus haut que le dégagement lent est bien mieux expliqué par l'action de l'oxyde de cuivre sur les sels dont il est imprégné.

Il faut chercher la raison du changement d'état dans la nature même du précipité donné par la potasse dans la dissolution de cuivre. Le précipité n'est pas l'oxyde de cuivre hydraté, mais une combinaison d'oxyde de cuivre, de potasse et d'eau. Elle abandonne la presque totalité de l'oxyde de cuivre à l'état anhydre, quand on porte la température à 80 ou 90°.

Pour expliquer le changement d'état dont nous nous occupons maintenant, il suffit d'admettre que le chlore, en agissant sur l'alcali de cette combinaison, élève momentanément et en chaque point la température à un degré suffisant pour que l'oxyde de cuivre se sépare à l'état anhydre. Il reste imprégné de sels alcalins, sur lesquels il agit ensuite, en déterminant la décomposition lente de ceux d'entre eux qui sont oxygénés.

La longue discussion que nous venons de faire était nécessaire pour écarter l'hypothèse séduisante d'une suroxydation du cuivre par une action employée comme oxydante dans un grand nombre de circonstances. On ne doit pas admettre l'existence d'un oxyde nouveau, quand les phénomènes observés ne prouvent pas, d'une manière certaine, sa formation, même momentanée.

*Action du chlore à une température inférieure à 0°.* — Considérons maintenant le cas où on fait agir le chlore sur l'oxyde de cuivre précipité par la potasse, quand la fiole est plongée dans un mélange réfrigérant.

Si la proportion d'alcali n'est pas forte, l'action dont nous avons parlé précédemment, la transformation du précipité bleu en oxyde noir, a lieu plus lente-

ment qu'à la température ordinaire, mais tout aussi complétement.

Si, au contraire, la potasse est en excès considérable, on obtient en même temps de l'oxyde noir et une liqueur bleue très-foncée.

La coloration persiste tant que le chlore n'a pas saturé une notable proportion de la potasse; au bout d'un temps plus ou moins long, elle devient verte, puis laisse déposer tout le cuivre à l'état d'oxyde noir.

À partir du moment où la liqueur bleue devient verte, elle laisse dégager des bulles nombreuses, mais très-petites, d'un gaz dont l'odeur piquante rappelle celle de l'acide chloreux.

La liqueur bleue peut être obtenue également quand on opère à la température ordinaire avec un grand excès d'alcali. Elle provient de la dissolution dans la potasse de la combinaison bleue de potasse et d'oxyde de cuivre, d'abord précipitée, combinaison qui est détruite progressivement par le chlore.

Quand on a employé un grand excès d'alcali, et qu'on agite un peu longtemps sans faire arriver de chlore, on obtient la dissolution complète du précipité bleu gélatineux, d'abord formé; la dissolution est d'un bleu magnifique, presque aussi foncé que la coloration produite par l'ammoniaque dans les sels de cuivre.

Le chlore, amené dans cette liqueur bleue, se comporte comme avec le précipité, c'est-à-dire en sépare assez rapidement l'oxyde noir de cuivre, quand on opère à la température ordinaire, et produit une coloration verte suivie de la précipitation de l'oxyde noir, quand on opère au-dessous de 0°.

Ces faits nous ont démontré que si le chlore agit avant que le précipité ne soit dissous dans l'excès d'alcali, et produit la dissolution partielle, on ne doit

attribuer ce phénomène qu'à l'action mécanique, à l'agitation que produit le courant de gaz, et que l'action chimique du chlore tend à empêcher la dissolution, en détruisant la combinaison d'oxyde de cuivre et de potasse.

Aussi n'obtient-on jamais la liqueur bleue quand l'alcali n'est pas en grand excès.

Lorsque, dans l'expérience que nous avons citée tout à l'heure, on interrompt l'action du chlore au moment où la liqueur bleue est devenue verte, on voit cette coloration disparaître progressivement, et la liqueur redevient bleue; le même changement de couleur s'observe pour toutes les matières organiques.

Il serait possible que la dissolution verte contînt du chlorure de cuivre, ou bien un degré d'oxydation du cuivre, supérieur à ceux connus; mais la composition complexe de la dissolution ne nous a pas permis de vérifier ce fait. Nous réservons ce sujet pour un autre mémoire, dans lequel nous exposerons les actions du chlore sur les alcalis à des températures inférieures à 0°.

*Combinaison soluble d'oxyde de cuivre et de potasse.* — Nous nous arrêterons un moment sur la combinaison bleue d'oxyde de cuivre et de potasse, soluble dans un excès d'alcali, parce qu'elle se forme très-facilement dans un grand nombre de circonstances, et empêche très-souvent le dosage du cuivre d'être exact.

La combinaison de l'oxyde de cuivre avec les alcalis, et la solubilité de ce composé dans un excès d'alcali, a été indiquée par Rouelle dans ses leçons de chimie, vers 1740. Elle a été ensuite bien prouvée par les expériences de Proust, de Chaptal, et, plus récemment, de M. Chodnew.

Mais, niée par Berzélius, elle a été omise dans la plupart des traités de chimie (1).

Nous rapporterons quelques-unes des expériences que nous avons faites à ce sujet.

Quand on fond de l'oxyde de cuivre avec de la potasse caustique seule, ou mélangée avec de l'azotate et du chlorate de potasse, dans un creuset de terre ou de

---

(1) Nous donnons en note le résumé succinct des publications qui ont été faites par différents chimistes.

Rouelle l'aîné paraît être celui qui fit le premier l'observation de la dissolution de l'oxyde de cuivre dans les alcalis, alors qu'il était démonstrateur de chimie au jardin du roi vers 1740.

On trouve, en effet, dans l'encyclopédie du dix-huitième siècle (*Encyclopédie*, t. IV, p. 546), imprimée en 1754, les observations suivantes :

« Les alcalis fixes agissent sur le cuivre de même que les » acides, et la dissolution en est bleuâtre. Les alcalis volatils » rendent la dissolution d'un bleu plus foncé.

» Le cuivre qui a été dissous par un acide peut être précipité » ou non précipité à volonté par les alcalis fixes et volatils. Si » l'on veut que la précipitation se fasse, il faut n'en mettre » qu'un peu ; si l'on veut qu'il ne se fasse point de précipité, il » n'y a qu'à y mettre une trop grande quantité d'alcali ; pour » lors l'alcali redissout le cuivre sur-le-champ, et le précipité » disparaît. Cette expérience est de M. Rouelle. » Nous avons également trouvé cette réaction indiquée dans un manuscrit du cours de M. Rouelle qui fait partie de la bibliothèque de l'École des mines.

En 1799, Proust fit connaître les résultats de ses recherches sur le cuivre (*Ann. de chimie*, t. XXXII, p. 27). C'est alors qu'il indiqua l'existence de l'hydrate d'oxyde de cuivre soluble dans la potasse caustique ou saturée (carbonate de potasse) et très-soluble dans l'ammoniaque.

En 1796, Chaptal (*Éléments de chimie*, t. II, p. 361) dit que les alcalis purs mis en digestion à froid avec la limaille de cuivre se colorent en bleu, mais l'ammoniaque le dissout beaucoup plus rapidement.

En 1804, Proust, à propos d'un sulfate de cuivre naturel (*Journal de physique*, t. LIX, p. 346) trouvé au Pérou, revient de nouveau sur les propriétés des sels de cuivre et sur

porcelaine, on obtient une masse d'une couleur brune plus ou moins foncée.

Traitée par une petite quantité d'eau presque froide, elle donne une liqueur bien claire et d'un beau bleu. La dissolution n'est complète que si l'on emploie, en place d'eau pure, une dissolution concentrée de potasse.

L'acide chlorhydrique en excès donne une liqueur

---

la solubilité de l'oxyde de cuivre dans une dissolution concentrée de potasse.

Quelque temps après, il publia un nouveau mémoire (*Journal de physique*, t. LIX, p. 393) sur l'hydrate de cuivre pour répondre à celui de Berthollet, où il était dit que les hydrates obtenus par Proust n'étaient que des sels au minimum retenant un peu d'acide auquel ils devaient leur couleur. Proust cite dans ce mémoire de nouvelles expériences qui confirment ses premiers résultats.

Les faits annoncés par Proust furent rappelés par Fourcroy en 1801 (*Système des connaissances chimiques*, t. VI, p. 286) et en 1805 (*Encyclopédie méthodique*, *dictionnaire de chimie*, t. IV, p. 117); mais il paraît porté à admettre que l'hydrate soluble dans la potasse est un oxyde suroxydé.

Bouillon-Lagrange, en 1802 (*Traité de chimie*, t. II, p. 313), rappelle simplement les faits annoncés par Proust sans faire aucune observation.

Berzélius, dans son *Traité de chimie*, dernière édition française (t. II, p. 527), nie positivement la dissolubilité de l'hydrate de cuivre dans la potasse et il l'attribue à la présence des matières organiques contenues dans l'alcali.

Enfin M. Chodnew, en 1844 (*Journal für pr. chemie*, t. XXVIII, p. 222, et *Rapports annuels sur les progrès des sciences*, par Berzélius, édition française, t. V, p. 76), a annoncé qu'en fondant l'oxyde de cuivre en présence d'un grand excès de potasse on obtenait une dissolution bleue en reprenant par l'eau, et que cette dissolution pouvait également être obtenue par voie humide en versant quelques gouttes d'un sel cuivrique dans une lessive caustique.

Ces citations suffiront sans doute pour montrer que cette solubilité de l'hydrate de cuivre dans la potasse en excès, omise à tort dans la plupart des traités de chimie, avait cependant été annoncée et discutée à différentes reprises depuis une époque assez reculée.

verte sans dégagement de chlore ; un excès de potasse fait naître dans cette dissolution un précipité verdâtre, qui devient bleu et se dissout en reproduisant la liqueur bleue primitive. Cependant, quand on emploie la potasse en morceaux, la température s'élève jusqu'à l'ébullition, et on obtient un précipité brun, qui est de l'oxyde de cuivre, $CuO$, anhydre, et ne retenant que très-peu d'alcali.

L'action de l'acide chlorhydrique ne permet pas de supposer que la liqueur bleue renferme un oxyde de cuivre supérieur à $CuO$. On peut, du reste, s'assurer facilement de ce fait, en versant lentement une dissolution de sulfate de cuivre, contenant bien certainement $CuO$ dans une dissolution concentrée et froide de potasse caustique. On obtient d'abord un précipité bleu très-gélatineux qui se dissout très-rapidement par l'agitation, et donne une liqueur parfaitement claire, d'un très-beau bleu, et tout à fait analogue pour ses caractères à celles obtenues par les méthodes indiquées précédemment.

La liqueur bleue, dont nous venons de nous occuper, est très-stable et peut supporter la température de l'ébullition quelques instants, sans laisser déposer de l'oxyde noir de cuivre ; quand on cherche à la filtrer, elle dépose sur le papier une combinaison bleue d'oxyde de cuivre et de potasse qui adhère très-fortement au papier ; la liqueur filtre avec une grande lenteur, elle passe d'abord incolore et ne renferme pas de cuivre ; puis, quand tout le filtre est recouvert de la matière bleue, la liqueur passe colorée.

Il résulte de là que la combinaison bleue d'oxyde de cuivre et de potasse est réellement soluble dans une dissolution de potasse ; mais elle en est facilement séparée, comme la plupart des matières colorantes, par le

papier et par toutes les substances analogues aux étoffes.

*Dosage du cuivre.* — Dans le dosage du cuivre, quand on précipite l'oxyde par la potasse, dans une dissolution peu chaude, et surtout quand on emploie un trop grand excès d'alcali, il se forme toujours une certaine quantité de cette combinaison bleue, qui n'est pas toute décomposée par l'ébullition. Une partie reste dissoute, en communiquant à la liqueur une couleur bleue plus ou moins intense, tandis qu'une autre partie se dépose avec l'oxyde déshydraté. Après filtration, on a tout l'oxyde de cuivre sur le filtre, mais il retient une petite proportion d'alcali, qu'il est impossible de lui enlever par lavage à l'eau bouillante.

L'erreur commise dans le dosage peut s'élever à 4 et même 5 p. 100 de la quantité de cuivre, non-seulement par suite de la potasse restée adhérente ou combinée, mais encore parce que la présence de l'alcali rend l'oxyde de cuivre beaucoup plus hygrométrique.

On évite en grande partie cette cause d'erreur en ajoutant de l'ammoniaque à la dissolution de cuivre, ensuite en n'employant qu'une petite quantité de potasse, et chauffant assez doucement jusqu'à décoloration complète de la liqueur. L'oxyde de cuivre doit être lavé par décantation, et ensuite filtré avant que toute odeur ammoniacale ait disparu. On obtient de cette manière de l'oxyde parfaitement noir, assez bien exempt d'alcali.

Quand, après addition d'ammoniaque, on emploie la potasse en grand excès, et on chauffe jusqu'à l'expulsion complète de l'alcali, on obtient une liqueur bleuâtre, qui dépose sur le filtre une petite quantité de la combinaison bleue de l'oxyde de cuivre et de la potasse.

Le rôle de l'ammoniaque est de retenir l'oxyde de cuivre dans sa combinaison jusqu'au moment où la température est assez élevée pour que l'oxyde de cuivre

se sépare à l'état anhydre, à mesure que l'ammoniaque se volatilise. Cette action ne peut plus avoir lieu quand la potasse est en grand excès, parce que l'affinité de l'alcali fixe se substitue à celle de l'ammoniaque, et on rentre alors, dans le cas ordinaire de la précipitation de l'oxyde de cuivre, dans une liqueur non ammoniacale par la potasse en excès. On peut aussi obtenir l'oxyde de cuivre bien noir et bien nettement précipité, en ajoutant un petit excès d'alcali à la liqueur non ammoniacale, chauffant à 40 ou 50°, et faisant arriver du chlore jusqu'à ce qu'il se produise un vif dégagement d'oxygène. Ce procédé est très-commode, très-rapide, et en même temps plus certain que l'emploi de l'ammoniaque.

### Minéraux sulfurés du cuivre.

Les minéraux sulfurés du cuivre, bien pulvérisés, mis en digestion dans une dissolution chaude et moyennement concentrée de potasse, sont rapidement attaqués par le chlore.

Le soufre, l'antimoine et l'arsenic se dissolvent entièrement à l'état d'acides sulfurique, antimonique, arsenique, combinés avec l'alcali en excès.

Le cuivre et le fer restent insolubles à l'état d'oxydes avec les gangues inattaquées.

Le chlore et les alcalis sont par conséquent d'un emploi très-commode pour l'analyse des minéraux du cuivre. Nous reviendrons sur ces analyses à l'article de l'antimoine et de l'arsenic.

*Carbonates alcalins.* — Quand on fait arriver du chlore sur un précipité d'hydrocarbonate de cuivre obtenu par un grand excès de carbonate alcalin, on détermine la dissolution d'une proportion très-grande de cuivre existant à l'état de sel double, indécomposable, au moins à froid, par les carbonates alcalins.

Nous avons déjà parlé de l'action du chlore sur le cuivre gris en présence des carbonates alcalins; nous insisterons de nouveau sur cet exemple.

On fait arriver du chlore sur du cuivre gris bien porphyrisé, mis en digestion dans une dissolution concentrée de carbonate de potasse, la liqueur se colore en bleu dès les premières bulles de gaz, et cette coloration augmente progressivement. La liqueur contient une proportion considérable d'oxyde de cuivre en combinaison très-stable, car on ne peut faire disparaître cette couleur bleue ni par une longue ébullition, ni par un excès de chlore.

Si, après filtration, on laisse digérer plusieurs jours la liqueur bleue qui contient le sel de cuivre et du carbonate alcalin en excès, la couleur bleue disparaît progressivement et on obtient un précipité vert.

On ne peut pas admettre qu'il se produit une combinaison d'un oxyde de cuivre avec l'alcali; la stabilité de la combinaison en présence du chlore écarte cette hypothèse.

Il nous semble certain qu'il se forme un sel double de cuivre et de potasse, et par suite nous sommes portés à conclure que le chlore agit principalement sur le cuivre en produisant du chlorure, au lieu de se porter exclusivement sur l'alcali du carbonate alcalin, comme cela se manifeste quand on opère avec les alcalis caustiques.

Vers la fin de l'opération, quand une grande partie du minerai a été attaquée, on voit une certaine quantité de soufre venir nager à la surface de la liqueur, ce qui prouve une action oxydante infiniment moins énergique que celle résultant de l'action directe du chlore sur l'alcali.

Ce fait indique bien un changement dans la manière

dont agit le chlore, qui doit alors se porter directement sur le minerai.

Ainsi donc, en présence des alcalis caustiques, l'action du chlore est unique : il se forme du chlorure alcalin et de l'oxyde noir de cuivre ; et au contraire, en présence des carbonates alcalins. l'action est extrêmement complexe : elle commence par l'alcali, se porte ensuite, au moins en partie, sur l'oxyde de cuivre, et enfin sur le minerai déjà partiellement attaqué.

Il résulte de là que pour les substances contenant du cuivre, il faut éviter de faire agir le chlore dans une dissolution contenant des carbonates alcalins.

*Dissolution acétique.* — L'acétate de cuivre en dissolution acide, contenant un acétate alcalin, traité par le chlore, ne laisse pas précipiter du cuivre. Le métal reste en dissolution bien stable, même en présence du plomb et du manganèse qui se séparent tous les deux à l'état de bioxydes.

Cette réaction donne un moyen très-commode de séparation du plomb et du cuivre ; voici de quelle manière il convient d'opérer.

Les deux métaux étant dissous dans un acide, on les précipite ensemble par un carbonate alcalin ; on dissout le précipité, sans le laver, dans l'acide acétique ; on ajoute un peu d'acétate alcalin ; on chauffe la liqueur acide à 40 ou 50°, et on fait passer du chlore ; le plomb est precipité complétement à l'état de bioxyde, le cuivre reste en entier dissous.

On dose le plomb comme nous l'avons déjà indiqué : quant au cuivre, on peut l'obtenir de deux manières :

1° On ajoute à la liqueur acétique un excès d'acide chlorhydrique ; on chauffe jusqu'à ce que l'odeur de l'acide acétique ait presque complétement disparu ; on verse de l'ammoniaque et on précipite l'oxyde de cuivre

par la potasse. Il n'est pas nécessaire de chasser l'acide acétique; on peut très-bien précipiter complétement le cuivre à l'état d'oxyde noir, en ajoutant à la liqueur acétique de l'ammoniaque et de la potasse en petit excès; le seul inconvénient est qu'il faut beaucoup plus de temps pour précipiter complétement le cuivre en présence de l'acide acétique. Nous considérons cette précipitation complète du cuivre dans une liqueur acétique comme importante, surtout au point de vue théorique. Elle prouve que l'influence attribuée par Berzélius aux matières organiques, pour empêcher le précipitation de l'oxyde de cuivre par la potasse, n'est pas du tout absolue.

2° On ajoute à la dissolution acétique un excès de potasse; dans la liqueur alcaline, on fait passer du chlore; le cuivre se sépare bien nettement à l'état d'oxyde noir; on lave et on calcine en le traitant comme l'oxyde noir ordinaire.

Ce procédé de séparation du plomb et du cuivre réussit très-bien quand le plomb est en proportion un peu grande ; il n'en est pas de même quand la quantité de plomb est très-faible, 3 à 4 centigr. par exemple. Dans ce cas on obtient plus sûrement la précipitation du plomb à l'état de bioxyde, en versant dans la liqueur acétique une dissolution de potasse dans laquelle on a fait passer un petit excès de chlore à la température de 30 à 40°.

L'emploi de cette dissolution pour précipiter de petites quantités de plomb ou de manganèse dans une liqueur acétique, nous a toujours donné des résultats plus favorables que l'action directe du chlore. On est bien plus certain, en se servant de cette dissolution, de ne pas employer un excès de réactif.

Nous ajouterons encore une observation : quand on

veut doser le plomb contenu dans un cuivre du commerce, il faut opérer sur au moins 10 grammes de cuivre, afin d'avoir dans la liqueur acétique une quantité de plomb assez grande pour que la séparation soit nette et pour que le dosage puisse être assez exact.

*Résumé.* — En présence des alcalis caustiques, le chlore sépare complétement le cuivre à l'état d'oxyde noir assez facile à laver.

L'oxyde de cuivre a une grande tendance à former une combinaison avec la potasse. Le composé est bleu, gélatineux comme la silice hydratée, soluble dans un excès d'alcali, absorbé très-facilement par le papier à filtre, le coton, etc.; cette combinaison est très-nuisible dans le dosage du cuivre : on peut l'empêcher, soit par l'emploi de l'ammoniaque, soit par celui du chlore.

Quand on fait agir le chlore sur l'hydrocarbonate de cuivre ou sur un minerai sulfuré, en présence des carbonates alcalins, l'action est complexe et donne toujours lieu à des sels doubles très-stables de cuivre et d'alcali.

Dans une dissolution acétique, l'oxyde de cuivre reste en dissolution bien stable en présence du chlore, ce qui permet de séparer facilement l'oxyde de cuivre de l'oxyde de plomb.

Dans les cuivres du commerce, et en général toutes les fois que le plomb est en petite quantité, il vaut mieux employer une dissolution alcaline saturée d'avance par le chlore à une température modérée.

### Oxyde et sulfure de nickel.

Le nickel se comporte absolument comme le cuivre sous l'influence du chlore, dans les dissolutions d'alcalis caustiques, de carbonates et d'acétates alcalins. La seule différence que nous ayons à signaler est qu'en présence

des dissolutions alcalines, le nickel se sépare à l'état de sesquioxyde stable.

Cette stabilité n'est pas assez forte pour que le sesquioxyde puisse prendre naissance en présence de l'acide acétique.

### Oxyde et sulfure de cobalt.

*Alcalis et carbonates alcalins.* — Si l'on précipite une dissolution de cobalt par un alcali employé en assez grand excès, et si dans la liqueur on fait arriver un courant de chlore, on voit le précipité hydraté formé d'abord, devenir noir en se transformant en peroxyde.

La même réaction a lieu en présence des acides arsénique, antimonique et phosphorique, et détermine la séparation bien nette de ces acides et de l'oxyde de cobalt.

Le cobalt, engagé dans des combinaisons sulfurées, est porté par le chlore, en présence des alcalis, au même degré supérieur d'oxydation.

Nous n'avons obtenu, dans aucune expérience, de combinaison soluble qui puisse être comparée aux acides que produisent dans les mêmes circonstances le fer et le manganèse.

*Dissolutions acétiques.* — Quand on fait passer du chlore dans une dissolution acide, contenant de l'acétate de cobalt et un acétate alcalin, on voit la couleur de la liqueur devenir brune et ensuite noire, sans qu'il y ait précipitation du cobalt.

Dans cette circonstance, le cobalt passe très-certainement à l'état de sesquioxyde, qui reste combiné avec l'acide acétique, ou plutôt avec les acides qui résultent de la transformation de l'acide acétique par l'oxygène et par le chlore.

Si l'expérience est faite en présence de l'acétate de plomb, on obtient quelquefois la précipitation partielle

du plomb à l'état de bioxyde, entraînant toujours une très-forte proportion d'oxyde de cobalt; mais une grande partie du plomb reste en dissolution.

Souvent même le chlore ne détermine aucun précipité, et si l'on a soin d'ajouter de temps en temps de l'acétate alcalin, afin d'éviter que le chlore ne vienne à dominer, on peut faire passer le gaz pendant huit ou dix heures, sans qu'il se dépose de peroxyde de plomb. L'énorme action oxydante que le chlore produit dans la liqueur se porte bien en partie sur les métaux, mais la plus grande action doit se trouver sur l'acide acétique.

Nous citons cet exemple pour montrer que le chlore, en présence de l'acide acétique, n'agit pas toujours exclusivement sur les métaux, et que dans certaines conditions son action peut être entièrement modifiée.

Nous en tirons cette conclusion que si dans les analyses l'action oxydante du chlore peut être employée dans certains cas avec un grand avantage, il ne faut pas l'appliquer sans avoir fait au préalable de nombreuses expériences, afin de savoir sur lequel des corps oxydables contenus dans une liqueur donnée se portera de préférence l'énergie oxydante que l'on développe.

### Sulfure d'antimoine. — Sulfure d'arsenic.

*Alcalis caustiques.* — Le sulfure d'antimoine naturel, les sulfures obtenus par voie humide, se dissolvent assez rapidement dans la potasse caustique.

Le chlore amené dans la liqueur fait passer les deux corps à leur degré supérieur d'oxydation, à l'état d'acide sulfurique et d'acide antimonique. L'action est rapide et bien complète, quand on a soin d'opérer avec une dissolution alcaline un peu concentrée et chauffée à 40 ou 50°. Dans la liqueur, on peut doser très-exactement le soufre, en le précipitant par le chlorure de

baryum, après avoir saturé l'alcali par l'acide chlorhydrique et ajouté un peu d'acide tartrique pour maintenir l'antimoine en dissolution. Il faut avoir soin de ne pas employer un excès de chlore qui sépare au moins en partie l'acide antimonique des alcalis.

En présence de la soude l'action est la même ; mais l'antimoniate de soude produit étant peu soluble, nous conseillons d'employer la potasse toutes les fois que la quantité d'antimoine est un peu forte.

La réaction que nous venons d'exposer est très-commode pour doser exactement le soufre dans le précipité de sulfure d'antimoine obtenu, soit par l'hydrogène sulfuré dans une liqueur acide, soit par la décomposition d'un sulfure alcalin tenant le sulfure d'antimoine en dissolution. L'antimoine est déterminé par différence, comme dans le procédé ordinaire.

Les sulfures d'arsenic présentent avec le chlore et les alcalis les mêmes réactions que les sulfures d'antimoine; seulement, l'arséniate de soude étant aussi soluble que celui de potasse, on peut employer indifféremment l'un ou l'autre alcali.

*Applications.* — Voyons maintenant de quelle manière le chlore peut être employé par voie humide dans les analyses des minéraux et des produits d'art qui contiennent de l'arsenic, de l'antimoine et d'autres métaux, tels que les cuivres gris, les minerais de nickel et cobalt, les mattes obtenues dans le traitement de ces minerais, etc.

Ces substances, ou au moins la plupart d'entre elles, ne peuvent pas être complétement oxydées par l'action directe du chlore en présence des alcalis caustiques, à moins qu'on ne parvienne à les porphyriser complétement. Quand elles sont seulement pulvérisées, elles agissent comme décomposants très-énergiques des sels

oxygénés du chlore. On obtient un vif dégagement d'oxygène au lieu d'une oxydation. Il faut avoir recours à une transformation préalable analogue à celle que nous avons employée pour l'analyse du caoutchouc vulcanisé.

*Application à la matte de Caronte.* — Nous prendrons pour exemple la matte qu'on obtenait à l'usine de Caronte en traitant les cuivres gris de Mouzaïa.

Elle renferme : soufre, arsenic, antimoine, fer, cuivre, nickel. Elle présente de grandes difficultés à l'analyse par les procédés ordinaires de la voie humide, à cause du nickel, dont le sulfure est notablement soluble dans les sulfures alcalins.

On attaque par l'eau régale la matte simplement pulvérisée. Quand tous les métaux sont dissous, on sature les acides par la potasse et on ajoute un excès de cet alcali. Après une digestion de quelques heures à la température de 30 à 40°, on fait passer un courant de chlore pendant un temps qui dépend de la quantité de matière sur laquelle on a opéré, d'une heure à une heure et demie pour 3 à 4 grammes de la matte. On a soin que l'alcali reste toujours en excès, parce que dans le cas contraire une partie de l'acide antimonique est précipitée par le chlore, qui le sépare de l'alcali.

On laisse déposer la partie indissoute, on lave à plusieurs reprises par décantation, on filtre et on achève le lavage.

Dans la liqueur, on a le soufre, l'arsenic et l'antimoine à l'état d'acides sulfurique, arsénique et antimonique ; la partie insoluble contient tous les autres métaux, fer, nickel, cuivre, à l'état d'oxydes.

La séparation est parfaitement nette et les oxydes ne retiennent même pas 1 milligramme d'arsenic et d'antimoine, quand le lavage a été fait avec les soins convenables.

Pour le cobalt et le nickel, dont les oxydes NiO, CoO ne sont pas complétement séparés des acides arsénique et antimonique par les alcalis seuls, l'action du chlore est indispensable, parce qu'elle fait passer les deux métaux, cobalt et nickel, à l'état de peroxydes qui n'ont aucune tendance à retenir les deux acides.

Le fer se comporte comme le nickel, c'est-à-dire passe, sous l'influence du chlore, à l'état de peroxyde, et qui ne retient pas les acides de l'arsenic et de l'antimoine.

Nous devons faire observer que le fer ne passe pas à l'état acide par suite de la présence des oxydes de cuivre et de nickel, qui détermineraient la décomposition du ferrate alcalin.

Pour terminer l'analyse de la matte, il faut doser le soufre dans la liqueur, en le précipitant à l'état de sulfate de baryte et en employant les précautions que nous avons déjà indiquées; dissoudre les oxydes dans l'acide chlorhydrique; précipiter le cuivre par l'hydrogène sulfuré et le transformer en oxyde pour le dosage; chasser l'hydrogène sulfuré de la liqueur, peroxyder le fer et le précipiter par l'ammoniaque; enfin précipiter le nickel par la potasse.

Il est très-suffisant de déterminer l'arsenic et l'antimoine par différence; mais alors il faut prendre le poids des oxydes calcinés avant de les dissoudre dans l'acide chlorhydrique, afin d'avoir une vérification pour le dosage des métaux. Si l'on veut doser l'arsenic et l'antimoine, il faut faire une seconde attaque de la matte par le même procédé, et dans la liqueur obtenue séparer et doser les deux métaux par les méthodes ordinaires.

Nous passons très-rapidement sur ces séparations, parce qu'elles sont faites par les méthodes connues; nous insistons seulement sur la réaction qui permet de

séparer en dissolution le soufre, l'arsenic et l'antimoine des métaux qui restent insolubles à l'état d'oxydes.

Plusieurs des minéraux auxquels cette réaction est applicable renferment à l'état de mélange de la galène et de la blende.

La galène ne gêne en aucune façon, parce que le plomb passe complétement à l'état de bioxyde insoluble; quant à la blende, sa présence est nuisible; on ne peut séparer la totalité du zinc qu'en faisant arriver le chlore en excès, et dans ce cas une certaine quantité d'acide antimonique se sépare avec les oxydes métalliques. Quand l'alcali reste en excès, une certaine quantité de zinc reste en dissolution avec les acides du soufre, de l'antimoine et de l'arsenic.

---

## CHAPITRE III.

### RÉSUMÉ.

Nous avons exposé précédemment un certain nombre de réactions oxydantes du chlore sur plusieurs des métaux qui se présentent fréquemment dans les analyses minérales; nous résumerons brièvement l'ensemble de nos observations.

Le chlore peut être employé très-utilement dans les analyses par voie humide et dans deux conditions bien différentes, dans des dissolutions alcalines et dans des liqueurs acétiques acides.

Dans le premier cas, en présence des alcalis caustiques, l'action oxydante est presque nulle au-dessous de 0°, et elle devient plus énergique à mesure que l'expérience est faite à une température plus voisine du point d'ébullition. Il est en général convenable d'opérer à une température modérée, vers 40 ou 50°.

Les corps qui forment des acides stables en présence des alcalis en excès, le soufre, l'arsenic, l'antimoine, le fer, le manganèse, passent assez rapidement à l'état acide.

Les métaux qui ne donnent pas lieu à des acides passent au degré d'oxydation le plus élevé que comportent la température et la présence des alcalis.

Presque toutes les matières organiques sont rapidement attaquées et sont transformées en composés solubles. L'action est surtout facile pour le papier.

Dans bien des circonstances, et principalement quand des corps divisés sont en présence, le chlorate et l'hypochlorite alcalins se décomposent en donnant un dégagement d'oxygène plus ou moins rapide. Ce dégagement est très-vif quand on opère à chaud et quand on fait arriver très-rapidement le chlore dans une liqueur alcaline concentrée; il est alors comparable à une effervescence. La décomposition est au contraire très-lente, mais peut se continuer pendant plusieurs jours quand on fait l'expérience à froid et dans des liqueurs étendues.

Le quartz pulvérisé, certains oxydes métalliques, la pyrite de fer, le nickel arsenical, etc., sont les substances minérales qui donnent le plus facilement naissance à ce phénomène.

Avec les oxydes de cuivre, de nickel et de cobalt, le dégagement lent d'oxygène se manifeste encore après plusieurs jours et plusieurs lavages par décantation : on pourrait, peut-être, l'attribuer à la formation de bioxydes métalliques peu stables, qui se décomposeraient lentement. Nous n'avons pu produire aucune réaction qui nous permît de conclure, d'une manière certaine, la formation des bioxydes préparés par M. Thénard au moyen de l'eau oxygénée.

En présence des carbonates alcalins, l'action du

chlore est bien moins oxydante et se transforme très-facilement en une action chlorurante directe sur les corps en dissolution ou en suspension.

Dans les dissolutions acides, renfermant un acide faible, comme l'acide acétique, et des acétates alcalins, le chlore peut encore agir comme oxydant et faire passer à l'état de bioxydes les oxydes de plomb et de manganèse.

Les principales applications que nous avons faites de ces réactions sont les suivantes :

1° *Dosage du soufre.* — En opérant avec les alcalis caustiques, nous transformons le soufre libre, le soufre des sulfures alcalins, le soufre des matières organiques, en acide sulfurique. Dans la liqueur, l'acide sulfurique peut être dosé avec une très-grande exactitude.

Cette méthode d'acidification et de dosage du soufre est très-utile pour le soufre libre, le soufre des matières organiques, notamment du caoutchouc, et pour le soufre de certains minéraux, comme la galène, etc.

2° *Élimination du papier des filtres.* — Nous remplaçons, dans certains cas, le grillage du papier des filtres par l'action dissolvante du chlore et des alcalis : la réaction est importante quand on opère sur des métaux volatils, dont le grillage du papier fait toujours perdre une partie.

3° *Analyse du caoutchouc.* — En employant l'acide azotique, et ensuite la potasse et le chlore, nous donnons un procédé d'analyse qui permet de doser, dans le caoutchouc, non-seulement le soufre, mais encore les métaux, tels que le plomb et le zinc, qui sont maintenant introduits fréquemment dans le caoutchouc dans différents buts.

4° *Analyse des minéraux contenant de la galène, du sulfure de nickel*, etc. — Nous indiquons un procédé

rapide et très-exact d'analyse de la galène ordinaire et antimoniale, fondé sur la transformation, sous l'influence du chlore et des alcalis, du soufre et de l'antimoine en acides et du plomb en bioxyde.

Nous donnons aussi un moyen commode de séparer exactement les acides de l'arsenic et de l'antimoine des oxydes de nickel, cobalt, cuivre, etc. Ce procédé est surtout utile pour l'analyse des minéraux contenant du nickel, parce que le sulfure de ce métal, étant en partie soluble dans les sulfures alcalins, on est obligé d'employer la voie sèche, qui est incommode et peu exacte.

5° *Séparations du plomb et du manganèse.* — Enfin, en utilisant la peroxydation du plomb et du manganèse par le chlore, en présence de l'acide acétique libre, nous donnons un procédé général de séparation des oxydes de ces deux métaux, des alcalis, des terres alcalines, des terres et d'un certain nombre d'oxydes métalliques.

6° *Combinaison bleue de l'oxyde de cuivre avec la potasse.* — Nous avons étudié la combinaison bleue soluble que l'oxyde de cuivre forme avec la potasse, nous avons démontré qu'elle doit nécessairement renfermer l'oxyde $CuO$. Nous indiquons le moyen d'éviter sa formation dans le dosage du cuivre.

7° *Bichlorure de plomb; bioxyde de plomb.* — Nous avons constaté que le plomb forme avec le chlore un composé correspondant au bioxyde soluble et cristallisable. Nous avons vérifié le fait annoncé par M. Frémy, que le bioxyde de plomb se comporte comme acide avec les bases fortes, et forme des composés solubles avec les alcalis, insolubles avec les terres alcalines; nous indiquons les circonstances dans lesquelles ces composés pourraient se former et nuire à l'exactitude de dosage du plomb à l'état de bioxyde.

# MACHINES BINAIRES.

LETTRE DE M. DU TREMBLEY AU SECRÉTAIRE DE LA COMMISSION DES ANNALES DES MINES (*).

Lyon, le 29 décembre 1853.

..... Le navire *le Du Trembley* a, en effet, accompli de nombreuses traversées depuis que, sous les yeux de la commission nommée par M. le préfet des Bouches-du-Rhône, il fit pour la première fois le voyage de Marseille à Alger avec une machine binaire. Depuis cette époque jusqu'à ce jour, il a fait, sans interruption pour réparation ou autres causes, le service régulier de Marseille à Philippeville auquel il était destiné par la maison L. Arnaud et Touache frères, qui en sont propriétaires. Ce service, commencé en juin dernier, immédiatement après le voyage d'essai, consiste en deux départs par mois de chacune de ces villes et comprend à ce jour, tant sur Alger que sur Philippeville, vingt-cinq traversées dont quelques-unes ont été effectués par les plus mauvais temps. La régularité des départs, affichés et publiés d'avance dans les journaux, est la meilleure preuve que la machine n'exige ni plus de réparations ni plus d'entretien que celles du système ordinaire, et qu'elle n'est pas sujette à plus de dérangement. Le navire a sept mois de navigation non interrompue et il n'y a pas lieu de croire qu'il doive entrer en réparations avant quelques mois encore. Cependant les machines sont loin d'être parfaites, et laissent au contraire

(*) La commission a jugé que la communication de M. du Trembley offrait assez d'intérêt pour être publiée, à titre d'annexe au rapport de la commission nommée par M. le préfet des Bouches-du-Rhône.

beaucoup à désirer sous le rapport de l'application du principe du système binaire.

Trois mois après la rédaction du rapport de la commission de Marseille, un ingénieur anglais, M. G. Rennie, de Londres, faisait la traversée de Marseille à Philippeville, envoyé par une société qui se formait à Paris pour la navigation transatlantique. A son retour et après l'examen le plus attentif de la consommation du charbon et de la perte du liquide auxiliaire, cet ingénieur, qui avait fermé les soutes à clef, constatait dans un premier rapport (qui n'a pas été livré à la publicité et dont l'original, resté entre les mains des directeurs, a décidé cette société à faire l'acquisition des brevets) que la quantité de charbon consommée était de 86 kilogrammes par heure au lieu de 78 kilogrammes, chiffre trouvé par les ingénieurs français. La consommation antérieure étant de 306 kilogrammes, l'économie restait de 73,7 p. 100. Ceci prouve que les conditions de marche n'ont pas changé d'une manière sensible. Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que lors de l'examen des ingénieurs français je faisais la traversée avec eux et que je surveillais avec grand soin la direction des feux. Une moins grande attention de ce côté et une perte de vapeur d'eau en excès par la soupape de sûreté expliquent suffisamment cette différence. Depuis, M. G. Rennie a remis un second rapport livré à la publicité par les directeurs de la société transatlantique dans lequel il a été, il est vrai, beaucoup plus réservé.

Des essais viennent d'être faits à Lorient pour le compte de l'État et pour expérimenter comparativement le système des machines binaires entre *le Bison*[1], muni de machines ordinaires, et *le Galilée*, portant une machine binaire. Ces essais, dirigés par M. Lafont, lieutenant de vaisseau, bien que n'ayant pas eu un succès complet, ont donné d'après le témoignage de cet officier, qui nous en a communiqué les résultats, une économie sur le combustible de plus de 50 p. 100

et un accroissement de vitesse en faveur de ce dernier.

Vous pouvez juger par ces faits que l'emploi du système binaire justifie pleinement les espérances qu'il avait fait concevoir.

La marche assez longue du *Du Trembley*, qui emploie l'éther sulfurique pour liquide auxiliaire, a résolu quelques questions d'une haute importance : 1° L'emploi de ce liquide n'a donné lieu à aucune espèce d'accident ni même d'inconvénient ; les précautions prises sont donc suffisantes, puisque par les plus gros temps les fuites de liquide ou de vapeur n'ont point été plus considérables. 2° La perte de liquide résultant de ces fuites n'a pas été plus grande après sept mois de marche que celle constatée dans les premiers voyages, ainsi que je puis en justifier par une lettre que m'ont écrite MM. L. Arnaud et Touache, en date du 15 décembre courant, et par laquelle ils m'annoncent qu'on n'a pas eu à réalimenter d'éther pendant la dernière traversée. Si cette perte a été parfois plus considérable, cela tient à la surveillance exercée sur les robinets et soupapes de sûreté de l'appareil à éther, mais nullement aux appareils de vaporisation et de condensation proprement dits, ni aux divers joints fixes ou mobiles de la machine. La machine de la cristallerie de la Guillotière, à Lyon, qui marche depuis six années, ne dépense pour 25 chevaux-vapeur d'éther que 1 litre 1/4 (moins de 1 kilogramme) par jour de quatorze heures de travail. Cette machine, la première de ce genre qui ait été livrée à l'industrie, est très-imparfaite sous le rapport de l'emploi total de la vapeur d'eau d'échappement et de sa chaleur ; mais la régularité et la longue durée de sa marche fournissent des renseignements certains sur la consommation de l'éther sulfurique, le plus difficile à contenir des liquides auxiliaires, et sur son innocuité complète sur les métaux qui composent la machine. En effet, depuis que cette machine a commencé son service, en novembre 1847, jusqu'à ce jour,

aucune partie des organes intérieurs n'a nécessité de nettoyage. Lés pistons, tiroirs, cylindres, clapets des pompes, visités après quatre années, ont été trouvés dans un excellent état; tandis que la machine à vapeur d'eau qui lui fournit sa vapeur d'échappement a nécessité d'abord le réalésage du cylindre et enfin son changement total, ainsi que celui de son piston, le rodage par trois fois différentes des surfaces du tiroir pendant le même espace de temps, par suite probablement de la nature incrustante des eaux du Rhône; toutes ces pièces avaient été cependant mises en bon état lors de l'installation du système. Jusqu'à l'année dernière on avait négligé de réalimenter la chaudière à vapeur d'eau avec l'eau résultant de la condensation dans l'enveloppe du vaporisateur, de la vapeur d'échappement (1). Depuis qu'on l'a utilisée à cet effet, cette chaudière, qu'il fallait nettoyer tous les samedis, n'exige plus de nettoyage que tous les cinq ou six mois. Quant à la consommation du charbon, elle a été réduite pour le même travail (estimé à 50 chevaux) de plus des deux tiers; mais cette consommation reste encore assez élevée, $1^{k},20$ à peu près par heure et par force de cheval. Cela tient aux dispositions de l'ensemble des deux machines qui sont placées à près de 15 mètres de distance l'une de l'autre et marchent indépendamment. La vapeur d'échappement de la machine à vapeur d'eau a donc un trajet de 15 mètres à faire pour arriver dans l'enveloppe du vaporisateur d'éther placé tout à côté de la

(1) On sait que les organes spéciaux des machines binaires sont un vaporisateur et un condenseur à tubes pour la vapeur auxiliaire. D'après les renseignements transmis par M. Debette, ingénieur des mines à Lyon, on commence dans cette ville à appliquer aux machines ordinaires sans condensation des condenseurs à tubes, et l'alimentation de la chaudière par l'eau distillée. On n'a pas encore appliqué les condenseurs fermés avec le système de retour d'eau à la chaudière des machines *Du Trembley*, mais M. Debette pense qu'on y viendra prochainement. C.

machine auxiliaire. La pompe à air d'une capacité trop faible, eu égard à l'énorme capacité à épuiser d'air (le tuyau de conduite a $0^m,15$ de diamètre), ne fait un vide que de 45 à 50 centimètres de mercure; mais ce vide est d'une fixité extraordinaire et invariable, il n'éprouve pas la plus légère oscillation à l'arrivée de la vapeur d'eau. Sur le *Du Trembley*, en de bonnes circonstances, ce vide a atteint 65 centimètres de mercure avec la même fixité. La vapeur d'éther dans la machine de la cristallerie est employée à $2^{atm.},8$ sans détente, à cause de la trop faible capacité du cylindre qui n'est point dans les proportions du volume de vapeur d'éther formé par le volume de vapeur d'eau condensée. Cette dernière vapeur est employée à 3 atmosphères, mais n'est détendue que de deux tiers, ce qui n'est pas suffisant et fournit trop de chaleur au vaporisateur, excès de chaleur qu'on fait disparaître en conduisant l'eau d'échappement du condenseur d'éther tout autour du tuyau qui amène la vapeur d'échappement et condensant en pure perte une partie de cette vapeur, afin de ne pas trop élever la pression dans le vaporisateur d'éther. Cette précaution est essentielle, car les pertes de liquide croissent d'une manière extraordinaire avec la pression de leur vapeur. Il semble que le liquide passe à travers les pores du métal. C'est ce motif qui me fait penser qu'il ne faut pas employer la vapeur auxiliaire à une pression plus élevée que 2 atmosphères 1/2, 3 atmosphères au plus, à moins qu'on ne puisse trouver des liquides d'un prix extrêmement réduit. Autrement la perte du liquide compenserait en partie l'économie de combustible; il est probable, du reste, qu'on ne tardera pas à employer des liquides ayant cette condition. M. Buran, ancien préparateur de MM. Gay-Lussac et Thénard, m'a remis un échantillon d'huile minérale extraite de la houille, qui paraît remplir toutes les conditions requises pour le meilleur liquide auxiliaire, et dont il fixe le prix à $0^f,80$ le kilo-

gramme. Le point d'ébullition de cette huile étant 45° C., permettrait son emploi à la pression de 3 et 4 atmosphères, sans nuire à la bonne condensation de la vapeur d'eau chauffante. Nous nous proposons d'en faire incessamment l'essai dans la machine de la cristallerie. Cette machine donnant du travail à près de cinq cents ouvriers, ne peut subir d'arrêt sans causer un préjudice grave. Elle fonctionne bien, suffit amplement au travail qu'elle fait avec une grande régularité, et c'est là la cause pour laquelle on n'y a point apporté les perfectionnements dont la convenance est démontrée; les changements à y faire entraîneraient de grandes dépenses et une perte de temps plus dommageable encore; il serait très-difficile du reste, pour ne pas dire impossible, d'en faire jamais un bon spécimen de mon invention.

La machine du *Du Trembley* se trouve dans le même cas; elle a été construite pendant mon voyage en Amérique, et les prescriptions que j'avais laissées n'ont pas été exactement suivies. Dans ce moment, MM. L. Arnaud et Touache frères, satisfaits des résultats qu'ils ont obtenus sur *le Du Trembley*, font construire chez M. Philippe Taylor, à Marseille, deux machines de 350 chevaux chacune destinées à deux navires pour la ligne du Brésil; ces machines, dont j'ai donné les indications particulières à l'emploi du système, et dont je fais moi-même construire les appareils spéciaux, sont très-avancées et seront le meilleur spécimen de machine binaire, ou *à vapeurs combinées* que mon expérience ait pu me fournir. Deux machines de 600 chevaux sont également en construction chez M. Cavé, à Paris, pour le compte de MM. Gauthier frères, qui créent un service du Havre à New-York (1). . . . . . . . . . .

(1) Il résulte des renseignements transmis par M. Charbonnier, directeur de la *Compagnie des établissements Cavé*, à la date du 9 janvier, que les projets de ces machines sont presque terminés et qu'on commencera prochainement les modèles.

C.

## APPLICATION DU SYSTÈME ARTICULÉ DE M. ARNOUX.

# RAPPORT

SUR L'APPLICATION DU SYSTÈME DE WAGONS ARTICULÉS ET DE COURBES A PETITS RAYONS, AUX CHEMINS DE FER SECONDAIRES, ADRESSÉ A M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS PAR UNE COMMISSION COMPOSÉE DE :

MM. AVRIL, JOB et MARY (*rapporteur*),
Inspecteurs divisionnaires des ponts et chaussées.

**Mission donnée à la commission.**

M. le ministre des travaux publics nous a chargés d'examiner quelles sont les modifications que l'emploi des voitures articulées de M. Arnoux permettrait d'apporter dans l'exploitation des chemins de fer déjà construits et dans les conditions de tracé des chemins de fer à construire.

En nous confiant cette mission, M. le ministre nous a invités en même temps à lui faire connaître les expériences nouvelles qui pourraient être jugées utiles, si celles déjà faites ne paraissent pas assez concluantes pour lever tous les doutes sur l'application du système articulé.

Enfin il demande s'il y a lieu, au moment où l'on va commencer l'étude des nouvelles lignes projetées dans l'ouest et le centre de la France, de maintenir les conditions indiquées dans l'hypothèse de l'emploi du matériel rigide, ou si, au contraire, il est possible de réduire le rayon des courbes dans quelques sections des lignes dont l'étude vient d'être ordonnée.

Quoique ces questions aient déjà été étudiées par M. Lechatelier, M. le ministre a décidé qu'elles le se-

raient de nouveau, et il nous a demandé notre avis sur les conclusions du rapport de cet ingénieur.

D'après ces termes de la mission qui nous est confiée, nous avons dû examiner avant tout cet intéressant et instructif rapport, dont les conclusions doivent servir de point de départ à notre travail.

L'auteur a d'abord cherché à se rendre compte de l'économie que l'adoption du système de M. Arnoux permettrait de réaliser sur les terrassements et les ouvrages d'art; ensuite, il s'est attaché à apprécier les avantages et les inconvénients du matériel de transport et du matériel de traction, au point de perfectionnement où M. Arnoux les a portés.

Déjà une commission, dite des chemins de fer à bon marché, a recherché les modifications que l'on pourrait apporter au système de construction suivi dans l'exécution des grandes lignes de chemins de fer pour réduire la dépense dans le cas où le réseau des chemins secondaires serait exécuté suivant le même système. Cette commission, composée des ingénieurs les plus compétents choisis dans les corps des ponts et chaussées et des mines, a pensé que si l'on réduisait le minimum des rayons des courbes de 500 mètres à 300 et même à 200 mètres, en même temps que l'on porterait les pentes à un maximum de 0,01 au lieu de 0,005, on pourrait exécuter des chemins de fer à une voie dans les terrains très-faciles, pour 40.000 francs par kilomètre, sans comprendre la voie et les gares, et que la dépense s'élèverait à 110.000 francs dans les terrains très-accidentés, en faisant toutefois exception des contrées exceptionnelles, comme le seraient les Alpes, les Pyrénées, ou la partie la plus montagneuse du centre de la France.

M. Lechatelier, admettant l'exactitude de ces éva-

luations, a cherché à se rendre compte de l'économie que l'on obtiendrait si l'on réduisait le minimum du rayon des courbes à 100 mètres, et, au besoin, à 60 et à 50 mètres, en adoptant le système articulé. Il a pensé que, par ce changement, on ramènerait la dépense des chemins à faire dans les pays de montagnes à ce qu'elle serait dans les terrains ordinaires si l'on adoptait les limites de courbure et de pente indiquées par la commission des chemins de fer à bon marché, c'est-à-dire que l'économie serait de 70.000 francs par kilomètre.

Pour les cas exceptionnels que la commission a dû laisser en dehors des moyennes, et auxquels le système Arnoux s'appliquerait plus spécialement, M. Lechatelier suppose que l'économie sur les frais de construction s'élèverait à 100.000 francs par kilomètre, balance faite de l'allongement du parcours. Il place dans cette catégorie les chemins qui relieront les villes de Clermont, Limoges, Angoulême, Bordeaux, Montauban et Lyon.

Cette évaluation n'est évidemment qu'une approximation, parce que l'économie à espérer de la substitution d'un système à l'autre ne peut être calculée avec quelque précision qu'en faisant une étude consciencieuse et détaillée des deux systèmes dans une localité déterminée. Cependant elle est rationnelle, puisqu'elle est fondée sur cette hypothèse que l'emploi des courbes à faible rayon fait disparaître en partie les difficultés résultant des accidents de terrain, pour ramener l'exécution à ce qu'elle est, dans les conditions les plus favorables, et fait ainsi descendre d'un degré l'échelle de ces difficultés.

Matériel roulant. Perfectionnement au mode d'articulation.

La question du matériel roulant employé autrefois sur le chemin de Sceaux a été reprise récemment par M. Arnoux et par l'un de ses fils, ingénieur des mines,

et ils sont parvenus à obtenir une très-grande amélioration en substituant aux chaînes de convergence, dont la fragilité effrayait les ingénieurs attachés à l'exploitation des chemins de fer, un parallélogramme articulé formé de pièces rigides liées au timon et à l'essieu. Par suite de cette disposition, le timon conserve une direction plus sûre et plus exacte dans les courbes, et n'exige plus pour l'attelage que la mise en place d'une seule clavette. Ce changement a notablement amélioré les premiers wagons de M. Arnoux, il a permis de leur imprimer sans difficulté un mouvement de recul et de les faire mouvoir isolément dans les gares. Il a ainsi remédié aux inconvénients qui, jusque-là, avaient inspiré des craintes sur l'emploi du matériel articulé.

**Essai du nouveau système d'articulation.** Quelques voitures construites dans le nouveau système ayant été récemment intercalées dans les trains du chemin du Nord, se sont comportées d'une manière entièrement satisfaisante dans les essais auxquels on les a soumises, bien qu'on leur ait fait faire des trajets de 60 à 80 kilomètres à l'heure. Le seul inconvénient qu'on y ait reconnu a été l'échauffement de quelques essieux, par suite de la perte de l'huile contenue dans les boîtes à patente. M. Lechatelier pense qu'il sera facile de remédier à ce vice de construction comme on a remédié aux défectuosités des boîtes à graisse, lorsque l'on a organisé les chaînes rapides. Comme cet essai a été fait dans des circonstances défavorables, lorsque la voie était détrempée par des pluies continuelles, cet ingénieur croit devoir en conclure que le succès de l'expérience de grand parcours peut être considéré comme établi.

Les expériences faites sur la résistance à la traction des voitures articulées et des voitures ordinaires n'ont

pas fait reconnaître de différence appréciable entre ces deux sytèmes dans les parties en lignes droites. On doit admettre que, dans les courbes à petit rayon, les voitures articulées auraient l'avantage; mais la vitesse acquise dans ces courbes, qui ont, en général, peu de longueur, permet aux masses considérables mises en mouvement de surmonter sans difficulté cette résistance, de sorte que cet avantage ne peut entrer en ligne de compte dans les frais d'exploitation que pour une fraction inappréciable.

**Dépense d'entretien.** Quant à la dépense d'entretien, elle a été trouvée, en moyenne, pour quatre années, de 0f,02127 par kilomètre au chemin de fer de Sceaux, et de 0f,0203 au chemin de fer du Nord, pour un parcours de 27.777.413 kilomètres en douze mois.

**Graissage.** Les frais de graissage ont été, au chemin de Sceaux, de 0f,0015, au chemin du Nord, de 0f,0007.

Des différences aussi faibles applicables à des dépenses insignifiantes, au point de vue du prix de revient des transports, doivent être négligées suivant M. Lechatelier; mais il pense que l'on doit attacher plus d'importance à la durée des bandages dans les deux systèmes.

**Usure des bandes des roues.** Au chemin de fer de Sceaux, la surface de roulement des roues, qui est cylindrique, se conserve d'une manière remarquable, et c'est le rebord saillant qui s'use, parce que, à raison même de la forme cylindrique de la surface de roulement, ce mentonnet vient s'appuyer contre les rails et s'use par le frottement latéral qui en résulte. Mais cette usure est faible et n'a, d'ailleurs, aucune influence fâcheuse. Sur les chemins ordinaires, au contraire, les bandes ont une conicité de 1/20, égale à l'inclinaison des rails, et la surface de roulement se raccorde, par un congé, avec le mentonnet; il n'y a

donc jamais frottement des rebords contre les rails; mais la surface conique s'use en gorge, et il faut, de temps en temps, remettre les roues sur le tour, pour remédier aux inconvénients qu'entraîne cette irrégularité dans la surface de roulement.

M. Lechatelier attribue cette usure des bandes des roues, dans le système rigide :

1° Au mouvement de lacet qui change à chaque instant la circonférence moyenne de roulement et détermine des glissements;

2° Au passage dans les courbes, qui détermine un *glissement de pivotement* dû au parallélisme des essieux, et un *glissement de parcours*, lorsque le jeu de la voie et la conicité ne suffisent pas pour racheter l'inégalité des chemins parcourus;

3° Enfin à la conicité des roues.

C'est cette dernière cause qui lui paraît la plus importante de toutes. Il explique l'usure qui en résulte en faisant observer que si la surface de contact entre la roue et le rail est un peu large, ce qui a lieu pour les vieux rails, dont le bombement est peu prononcé, il y a nécessairement glissement des roues situées de part et d'autre de la circonférence moyenne de roulement, et ce glissement indéfiniment répété doit nécessairement exercer une influence marquée, quoiqu'il soit très-faible à chaque instant.

Les expériences faites sur les chemins du Nord et de Sceaux permettent d'apprécier l'influence de ces causes d'usure.

Parcours moyen des bandages sur le chemin de Sceaux.

Sur le chemin de fer de Sceaux, le parcours moyen des bandages actuels des roues est d'environ 300.000 kilomètres; si on les remplaçait par de nouveaux bandages exécutés avec les perfectionnements que l'on a apportés dans la fabrication et dans la forme, ils pour-

raient résister à un parcours de 400.000 kilomètres.

**Parcours des bandages sur le chemin du Nord.**

Tandis qu'au chemin de fer du Nord, les bandages doivent être remis sur le tour deux fois pour que l'on puisse leur faire parcourir 100.000 kilomètres.

**Frais d'entretien des bandages au chemin du Nord.**

Pour calculer les frais d'entretien dans ces deux conditions différentes, M. Lechatelier s'est servi de renseignements que lui a fournis le chemin du Nord. Voici le calcul pour une paire de roues :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Matières. | 2 bandages bruts, 320$^k$ à 0$^f$.64. | 204,80 | fr. |
| | 14 rivets. . . . . . . . . . . . | 1,82 | 207,12 |
| | Charbon. . . . . . . . . . . . . | 0,50 | |
| Main-d'œuvre et pose. | Alésage de deux bandages. . . . | 1,00 | |
| | Embatage. . . . . . . . . . . . | 3,20 | |
| | Tournage des bandages neufs. . | 1,00 | 8,14 |
| | Perçage de trous. . . . . . . . | 2,10 | |
| | Pose des rivets. . . . . . . . . | 0,84 | |
| Entretien. | 3 rafraîchissages. . . . . . . . | 5,25 | 6,09 |
| | Remplacement des rivets. . . . | 0,84 | |
| Frais généraux : 60 p. 100 de la main d'œuvre. . . | | | 8,55 |
| | | Total. . . . . . | 229,92 |
| A déduire pour la valeur des vieux bandages réduits au tiers de leur poids primitif, 106$^k$,67 à 0$^f$,20. . . | | | 21,35 |
| | | Reste. . . . . . | 208,57 |
| Soit par kilomètre pour une paire de roues parcourant 100.000 kilomètres. . . . . . . . . . . . . . . | | | 0,002087 |
| Et par voiture montée sur 4 roues. . . . . . . . . . | | | 0,00416 |

*Frais d'entretien des bandages au chemin de Sceaux.*

| | |
|---|---|
| Les roues sur le chemin de fer de Sceaux doivent coûter, comme plus haut, pour fournitures. . . | 207,12 |
| Pour main-d'œuvre et pose. . . . . . . . . . . . . . | 8,14 |
| Pour frais généraux : 60 p. 100 sur 8$^f$,14. . . . . . . | 4,88 |
| Total. . . . . . . | 220,13 |

A déduire pour la valeur des vieux bandages réduits au $\frac{2}{3}$ du poids brut primitif, soit $213^k,33$ à $0^f,20$. . 42,66

Reste. . . . . . . 177,60

Si donc l'emploi des bandages les plus récents et l'augmentation d'épaisseur portent la durée à 400.000 kilomètres avant la mise au rebut, la dépense par kilomètre sera $\frac{177,74}{400.000}$ = . . . . . . . . . . . . . . 0,00044

et pour une voiture à 4 roues. . . . . . . . . . . . 0,00088

Comparaison entre les frais d'entretien des bandages sur les deux chemins.

La différence par voiture serait donc en faveur du chemin de fer de Sceaux 0,00416—0,00088=0,00328. Cette différence, appliquée au chemin du Nord où les voitures ont parcouru 65.000.000 de kilomètres, donnerait un total de 213.200 francs.

Soit 1/5 environ de la dépense totale d'entretien du matériel roulant.

Causes qui peuvent atténuer l'avantage provenant de la durée des roues sur le chemin de Sceaux.

Si tel était en réalité le bénéfice à retirer de l'emploi du matériel de M. Arnoux, il n'y aurait pas à balancer sur la préférence à lui donner ; mais M. Lechatelier fait à l'emploi de ce matériel quelques objections graves, qui ne peuvent être résolues que par des expériences plus prolongées et plus complètes que celles qui ont été faites jusqu'à présent

Ainsi les routes assujetties à rouler sur des rails inclinés ne tarderaient pas à prendre la forme conique, et alors pourraient-elles encore parcourir 400.000 kilomètres sans être renouvelées?

Les voitures étant soumises à une marche plus rapide, moins soignées dans les trains de marchandises qu'au chemin de fer de Sceaux, n'en résulterait-il pas une nouvelle cause d'usure pour les bandages?

Le système articulé et les galets directeurs offrant un ensemble de pièces ajustées avec précision, soumises

à des chances d'usure et de rupture, n'entraîneraient-ils pas à des frais d'entretien pouvant balancer l'économie sur le bandage de roues?

L'attelage rigide de tous les véhicules d'un même convoi ne présenterait-il pas des difficultés de démarrage qui entraîneraient des pertes de temps pour les trains de voyageurs?

La même cause ne forcerait-elle pas à diminuer le poids des trains de marchandises?

Les modifications que l'on pourrait imaginer pour remédier à cette difficulté de démarrage ne seraient-elles pas une nouvelle cause de dépense?

Le mode d'attache des wagons ne serait-il pas la source de nombreuses fausses manœuvres, parce que dans les moments de presse, la nuit, on présenterait une voiture à l'envers pour la fixer au train déjà préparé?

Le matériel articulé, beaucoup plus délicat que le matériel rigide, ne serait-il pas exposé à être avarié, étant manié avec brutalité et négligence dans les gares, tantôt poussé à bras d'hommes, tantôt avec l'aide de chevaux ou de locomotives?

Enfin, les manœuvres de ce matériel devant nécessiter plus de temps, plus de précautions, ne seraient-elles pas une nouvelle source de dépense?

Quoique M. Lechatelier espère que M. Arnoux pourrait lever ou atténuer ces objections, il ne croit pas que l'économie calculée précédemment puisse jamais être atteinte, et en conclut que, dans son opinion, il n'y a pas lieu de remplacer le matériel rigide des anciens chemins par le matériel articulé.

Quant à l'application de ce matériel aux chemins de fer du réseau secondaire à établir dans des terrains très-accidentés, M. Lechatelier ne balancerait pas à en

conseiller l'emploi si l'accouplement accidentel de deux sortes de véhicules dans un même convoi ne devait pas entraîner de graves inconvénients.

Ces inconvénients seraient plus graves encore, suivant cet ingénieur, si l'on voulait appliquer le matériel articulé aux chemins actuels, dont les voitures ne pourraient être modifiées que graduellement.

Inconvénients de cette application.

Il arriverait, en effet, que l'on aurait, soit par le contact des chemins actuels avec les chemins nouveaux construits pour recevoir les voitures articulées, soit par le renouvellement progressif du matériel ancien, un mélange obligé des voitures des deux systèmes; de sorte que l'on tomberait dans des embarras de même nature, mais bien plus multipliés que ceux produits au chemin de fer du Nord, par suite de la différence existante entre son matériel et celui des chemins belges; embarras tels, cependant, qu'il s'agit actuellement de changer les matériels belges et rhénans pour les mettre en harmonie avec le matériel français.

En effet, pour accoupler les wagons ordinaires avec ceux de M. Arnoux, qui sont en contact entre eux par des barres d'attelage seulement et ne portent pas de tampons, il faudrait interposer, comme on le fait entre les wagons belges et français sur le chemin de Bruxelles, des voitures de raccordements portant d'un bout des tampons, de l'autre une portion de barre d'attelage.

Nécessité d'adopter la voie de 1m,44 pour les chemins articulés comme pour les grandes lignes.

Les relations indispensables entre les chemins de fer actuels et les chemins à matériel articulés auraient encore un autre inconvénient, celui de rendre nécessaire la réduction à $1^m,44$ de la largeur de la voie de $1^m,805$ adoptée au chemin de Sceaux. M. Lechatelier considère cette réduction comme une mesure regrettable, parce que les voitures sur cette nouvelle voie ne peuvent avoir que $1^m,095$ entre les points d'appui des ressorts sur les

essieux, tandis que dans le matériel rigide, les points d'appui pris en dehors des roues sont écartés de 1m.907, et que ce rapprochement des points d'appui a pour effet de déterminer un mouvement de roulis que l'on a remarqué dans les essais faits au chemin du Nord sur des voitures articulées; mais ce mouvement, très-fort dans les petites vitesses, diminue à mesure que la marche des convois s'accélère.

(Disons de suite que ce mouvement a dû être en grande partie déterminé, au chemin du Nord, par le surhaussement et par la surcharge des impériales des voitures disposées pour recevoir les bagages des voyageurs.)

Difficulté de l'application du système articulé aux chemins de fer du réseau secondaire.

M. Lechatelier, retenu par ces considérations, ne croirait donc pas qu'il convînt d'appliquer le système Arnoux ailleurs qu'au réseau central et aux chemins à peu près isolés, quand même la question du matériel de traction serait complétement résolue. Ainsi, pour les chemins de fer de Rennes à Brest et à Lorient, qui feront suite au chemin de Paris à Rennes, et seront probablement exploités par la même compagnie, il faudrait deux systèmes de matériel, ce qui augmenterait la dépense et les difficultés de l'exploitation.

Inconvénients résultant de l'impossibilité de faire circuler le matériel rigide sur les chemins à petites courbes.

Pour les chemins de fer du centre de la France, il verrait même un très-grand obstacle à l'adoption pure et simple du système Arnoux avec ses petites courbes, parce que le matériel des grandes lignes ne pourrait pas y circuler, et que dès lors, pour éviter les transbordements qui briseraient les houilles, que la compagnie qui exploitera le réseau central eût un nombre de wagons suffisant pour porter les produits de ce réseau sur toutes les autres lignes de chemins de fer.

Matériel de traction

Ces difficultés, qui paraissent graves à M. Lechatelier, ne le sont cependant pas autant, à ses yeux, que celles du matériel de traction. Sur toutes les grandes

lignes, on emploie exclusivement au remorquage des trains à marchandises des locomotives à quatre ou à six roues couplées, afin d'augmenter l'adhérence du moteur sur les rails, en utilisant le frottement produit par le poids total des locomotives.

Faible puissance des machines du chemin de Sceaux résultant du défaut d'adhérence.

Avec les voitures articulées, on ne s'est servi jusqu'à présent que de locomotives ayant une seule paire de roues motrices, parce que la convergence des essieux ne permet pas de réunir par des bielles deux paires de roues voisines. Or, avec cette seule paire de roues, l'adhérence est beaucoup trop faible pour le service que l'on fait sur les chemins de fer actuels, et c'est ce service de lourds convois qui donne à ces nouvelles voies de transport l'immense supériorité qu'elles acquièrent chaque jour.

Jusqu'à présent, la faiblesse des locomotives du chemin de Sceaux n'a eu aucun inconvénient, parce que la circulation des voyageurs y est restreinte et que celle des marchandises est nulle. On comprend donc pourquoi M. Arnoux n'a fait aucune tentative pour apporter au *matériel de traction* des modifications analogues à celles qu'il a introduites dans *le matériel de transport*. Mais sur les chemins à construire dans les pays montagneux accidentés, on aura des courbes à petits rayons et des pentes considérables; il faudra donc une très-grande puissance pour remorquer les convois, et les locomotives à deux roues couplées ne pourront y être employées qu'accidentellement.

Impossibilité d'entreprendre les nouvelles lignes à concéder dans le centre de la France tant que l'on n'est pas assuré d'avoir des locomotives puissantes pour les parcourir.

M. Lechatelier espère que M. Arnoux parviendra à trouver le moyen d'appliquer la force de la vapeur à deux paires de roues; mais quand le problème sera-t-il résolu d'une manière satisfaisante et tout à fait pratique? Il ne le sait pas, et dans l'incertitude où l'on est à cet égard, peut-on entreprendre des chemins dont

l'exploitation serait impossible si, à l'époque de leur achèvement, on n'était pas encore parvenu à construire des locomotives assez puissantes pour remorquer de lourds convois ayant à monter les pentes rapides de chemins à petites courbes ?

Sur le chemin de Vienne à Trieste, le prix du concours ouvert entre les constructeurs pour la machine qui ferait le meilleur service sur les pentes et dans les courbes du Semmering, a été gagné par *la Bavaria*, qui avait quatorze roues couplées.

Les machines à roues couplées sont employées, sur tous les chemins, à remorquer les convois de marchandises et même les trains mixtes de voyageurs et de marchandises, et M. Lechatelier pense que l'emploi de ces machines à roues couplées devra s'étendre de plus en plus et permettra de réaliser de grandes améliorations et même d'abaisser les tarifs actuels en transportant dans un convoi mixte un grand nombre de voyageurs en même temps que des masses considérables de marchandises.

Nécessité d'employer des machines plus puissantes.

La nécessité des machines puissantes, c'est-à-dire à roues couplées, sera plus impérieuses encore sur les chemins du réseau central que sur les chemins actuels, et cependant l'accouplement des roues est en opposition directe avec le système de M. Arnoux, puisqu'il faut des trains rigides pour réunir les roues par des bielles. M. Lechatelier regrette que les recherches de M. Arnoux n'aient pas porté sur ce sujet, parce que cet habile et inventif ingénieur aurait probablement trouvé une solution de ce problème. Déjà depuis que son attention a été appelée sur ce point, « il a imaginé une disposition qui paraît très-praticable, et » qui, sans résoudre complétement la question, lui » ferait faire déjà un pas considérable, si une étude plus

» détaillée et l'exécution en grand venaient confirmer » les espérances que l'on peut concevoir à ce sujet.

Disposition proposée par M. Arnoux.

» Cette disposition consisterait à assurer, comme » d'ordinaire, la direction de la machine au moyen d'un » essieu mobile et à roues indépendantes, placé avec » un système de galets à chaque extrémité, et à fixer » sous le milieu de la machine quatre roues motrices » reliées deux à deux par des bielles d'accouplement, » mais indépendantes d'un côté à l'autre de la machine. » Chaque paire de roues d'un même côté serait com- » mandée par deux petits cylindres dont les oscillations » seraient plus ou moins précipitées suivant le dévelop- » pement du rail sur lequel travailleraient les roues » correspondantes; peut-être même serait-il possible, » sans inconvénient bien sérieux, de n'atteler qu'un » seul cylindre sur chaque paire de roues. »

Nécessité de faire des essais.

M. Lechatelier conclut de la discussion à laquelle il s'est livré que si le système de M. Arnoux n'est pas applicable dès à présent à la construction des chemins de fer qui restent à concéder, il peut le devenir. Et en conséquence il est d'avis que, sans arrêter la concession des lignes qu'il est opportun d'exécuter immédiatement, il est nécessaire de prendre des mesures pour hâter le plus possible la solution des difficultés inhérentes au matériel de traction, afin que l'on puisse profiter le plus tôt possible, et avant que la question soit plus engagée, des avantages du système des trains articulés.

Il pense donc qu'il conviendrait de faire des essais, et pour cela de construire une machine puissante et un train complet de wagons à marchandises.

Il estime qu'une somme de 200.000 francs serait nécessaire pour l'installation complète d'un train composé d'une machine portant son eau et son coke et de trente wagons pouvant porter dix tonnes de houille. En outre,

100.000 francs pourraient être employés à modifier et perfectionner ce matériel au fur et à mesure que l'expérience en démontrerait l'utilité.

Ce train pourrait être mis en expérience sur le chemin de fer du Nord, dont la compagnie se prêterait, sans nul doute, aussi volontiers à ces essais qu'elle s'est prêtée à ceux qui ont déjà été faits avec son concours sur les voitures articulées.

Faire les essais sur le chemin de fer du Nord.

S'il entrait dans les vues de l'administration de donner à la compagnie du chemin de fer de Sceaux les facilités qu'elle réclame pour le prolongement de son chemin jusqu'à Orsay, les expériences pourraient être faites sur cette ligne, où le matériel à créer trouverait, dans tous les cas, son application.

M. Lechatelier termine son rapport par les conclusions suivantes :

1° Le système de M. Arnoux, en supposant résolues les questions qui se rattachent au moteur, aurait l'avantage de procurer des économies considérables sur les frais de construction dans les régions accidentées, sans compromettre les facilités qu'on doit rechercher pour la vitesse de la circulation dans les parties où le tracé des chemins de fer peut se développer sans sinuosités exceptionnelles ; il serait, à ce point de vue, supérieur au matériel américain :

2° Sur les lignes déjà construites en France on doit admettre, dans l'état actuel des choses, qu'il n'y a pas lieu de substituer les véhicules de M. Arnoux au matériel de transport ordinaire ; l'économie des frais d'entretien des bandages de roues peut être balancée en totalité ou en partie par un surcroît de dépenses analogues applicables à d'autre parties du matériel ; elle serait, dans tous les cas, balancée par des sujétions de service ;

3° Si la question du moteur était résolue, le système

de M. Arnoux, nonobstant les sujétions de service qui ont été signalées, s'appliquerait heureusement à la plus grande partie des chemins de fer qui restent à concéder en France, et spécialement en Algérie, en Corse et dans les colonies. Il n'y aurait d'exception qu'autant que la nature du trafic ou la situation des lignes dans le réseau existant exigerait la circulation réciproque des véhicules;

4° La question du moteur reste à résoudre; il est nécessaire, pour rendre le système de M. Arnoux susceptible d'une application générale et pratique, de créer un système de machines qui remplisse les fonctions des machines à quatre et six roues accouplées du système ordinaire.

5° Il serait utile d'entreprendre sans perte de temps des essais pour la construction et la mise en service d'un matériel approprié au transport des marchandises, par convois lourdement chargés, ou à l'ascension des rampes d'une forte inclinaison. Des essais de cette nature exigeraient une première affectation de 300.000 francs;

6° Dans l'état actuel des choses, et uniquement à cause du manque d'un moteur puissant approprié au système de M. Arnoux, il n'est pas possible de compter sur l'application de ce système pour régler les conditions suivant lesquelles devront être tracées et concédées les lignes dont l'exécution doit être entreprise dès à présent.

OBSERVATIONS.

L'analyse détaillée du rapport de M. Lechatelier a parfaitement posé la question, en faisant connaître d'une manière nette et précise le degré de perfectionnement auquel est arrivé le système de voitures articulées de M. Arnoux.

Ainsi un premier point paraît acquis, c'est la possibilité de faire circuler, sans aucune difficulté, les voitures articulées sur les chemins de fer actuels, et de les faire servir dans les trains rapides comme dans les trains ordinaires.

Un autre point reste douteux aux yeux de M. Lechatelier : c'est la possibilité de trouver un système de locomotive qui permette de remonter sur les rampes à grande déclivité des trains lourdement chargés, et dans le doute où il est encore à ce sujet, cet ingénieur ne croit pas pouvoir proposer l'application du système Arnoux à l'exécution immédiate du réseau de chemins de fer à construire dans les contrées montagneuses et accidentées du centre de la France. En conséquence il demande qu'un crédit de 300.000 francs soit alloué pour essayer un nouveau système de locomotive et pour faire des expériences, tant sur les locomotives que sur l'usage des trains articulés employés à une exploitation complète.

La commission chargée par M. le ministre des travaux publics d'examiner une affaire aussi importante a cru devoir faire précéder l'examen des questions sur lesquelles elle doit émettre un avis, d'un exposé complet du système de M. Arnoux au point où il est arrivé en ce moment.

Il y a dans ce système quatre choses à considérer :

1° Les voitures destinées au transport des voyageurs et des marchandises ;

2° Les locomotives employées à remorquer les convois ;

3° La voie de fer en ce qu'elle présente de particulier ;

4° Enfin le tracé des chemins de fer destinés à la circulation des trains articulés.

Nous allons successivement examiner ces différents points de la question, en ayant soin de bien définir la

partie du système dont nous nous occuperons, afin de rendre plus intelligibles les détails dans lesquels nous aurons à entrer. Dans cet examen, nous suivrons l'ordre qui vient d'être indiqué, et par conséquent nous commencerons par les voitures.

Voitures. La caisse des voitures à voyageurs ou à marchandises est placée au-dessus d'un train rigide supporté par deux avant-trains articulés, auxquels il est relié par des chevilles ouvrières.

Description des trains. Le train rigide que relie les deux avant-trains se compose, Pl. III, *fig.* 10 et 11, d'une flèche *a* et de deux lisoires *b* et *b'*, assemblés à ses extrémités à l'aplomb des essieux auxquels ils sont reliés par la cheville ouvrière. Ces trois pièces principales du train sont consolidées par deux empanons *cc* et *c'c'*, disposés à peu près en croix de Saint-André et par des ferrures convenables.

Chaque lisoire porte en dessus les deux ressorts de la caisse, et en dessous un cercle entier en fer *eeee*, remplaçant la sassoire des avant-trains ordinaires. Ce cercle est solidement fixé, tant au lisoire qu'aux empanons convenablement prolongés et à la flèche, au moyen des boulons *b''*, *b*ᴵᵛ, etc., dont les têtes, fraisées, sont parfaitement affleurées avec la surface de frottement des deux cercles, l'un sur l'autre.

Le lisoire présente au milieu de sa face inférieure une entaille horizontale, dans laquelle pénètre le timon de l'avant-train : il est, en outre, percé verticalement d'un trou rond destiné à recevoir la cheville ouvrière qui traverse à la fois le lisoire, la flèche et l'essieu.

Chaque avant-train se compose :

Description des avant-trains. 1° D'un essieu *ff* supporté par des roues munies de boîtes à patente, c'est-à-dire fermées hermétiquement, de manière que l'essieu tourne dans l'huile ;

2° De la contre-sassoire *aa* tournant, comme la sas-

soire, sous laquelle s'applique exactement un cercle entier en fer, dont le centre correspond à la cheville ouvrière ;

3° Enfin d'un timon *d* qui sert tout à la fois à diriger l'avånt-train et à relier entre elles les voitures composant un convoi.

Au point où la contre-sassoire porte sur l'essieu, celui-ci présente de chaque côté, en *oo*, des oreilles auxquelles elle est fixée.

Le timon est relié au train d'abord par la cheville ouvrière *g*, autour de laquelle il tourne, ensuite par quatre bielles d'égales longueurs B, dont les deux premières partent du timon pour se fixer à deux manchons alésés mobiles sur l'essieu, tandis que les deux autres, partant des mêmes manchons, se relient à la flèche du train, de manière que les quatre bielles forment un losange articulé.

Il résulte de cette disposition de l'avant-train que quand le timon s'écarte à droite ou à gauche de la direction de la flèche, l'essieu tourne autour de la cheville ouvrière, en divisant en deux parties égales l'angle formé par le timon et par la flècne, et se dirige par conséquent vers le centre de la courbe, dont le timon et la flèche sont les tangentes.

Par suite de cette ingénieuse combinaison, les essieux ne deviennent convergents qu'au moment même où les roues atteignent la courbe, et ils cessent de l'être ou même convergent dans un autre sens, suivant que la voie redevient droite ou s'infléchit en sens contraire. Les chaînes de convergence, qui, par leur fragilité, inspiraient des craintes continuelles, sont donc remplacées par des bielles solides, dont l'effet ne se fait sentir qu'au moment où il devient nécessaire, et cesse dès qu'il est inutile.

Il résulte de cette disposition que quand un convoi, guidé par les galets directeurs G, G, *fig.* 10, est engagé dans une courbe, toutes les voitures à la suite, dirigées par leurs timons, en suivent successivement tous les contours, comme le fait voir la figure.

**Emploi du matériel articulé sur le chemin du Nord.**

Arrivé à cet état de perfectionnement, le matériel de transport du chemin de Sceaux paraît applicable même sur les chemins ordinaires ; car, depuis la rédaction du rapport de M. Lechatelier, la compagnie du chemin du Nord, encouragée par les essais satisfaisants qu'elle a déjà faits, est en pourparlers avec M. Arnoux pour la fourniture de deux trains complets, comprenant les wagons à bagages, les voitures à voyageurs et les wagons pour le service de la poste : les conditions de cette fourniture ont été discutées devant le rapporteur dans une conférence avec le chef de l'exploitation.

**Expériences à faire sur le matériel.**

On peut donc compter que, très-prochainement, il sera fait des expériences tout à fait concluantes sur ce matériel appliqué aux chemins de fer ordinaires, et que l'on pourra apprécier toutes les circonstances de son emploi en grand, dans une exploitation beaucoup plus difficile que celle des lignes secondaires que le système articulé est particulièrement destiné à desservir.

**Utilité de nouvelles expériences.**

Cette application présentera encore un très-grand intérêt, parce que plusieurs points importants n'ont pas encore été éclairés par la pratique : nous voulons parler de la possibilité de faire démarrer un long train de voitures articulées lourdement chargées, et des effets que pourraient avoir, soit la collision d'un train contre un obstacle, soit le déraillement de la locomotive ou de toute autre partie d'un train.

**Liaison complète des différentes voitures d'un train.**

Jusqu'à présent, toutes les voitures composant un convoi articulé ont été reliées entre elles d'une manière invariable par les timons ou barres d'attelage. La liaison

de deux timons s'opère au moyen d'un goujon en fer qui pénètre dans des trous ronds préparés aux abouts des deux timons, auxquels il est relié par deux clavettes. Pour faciliter sa pénétration au moment de l'assemblage des voitures d'un convoi, l'un des timons porte à son extrémité un entonnoir assez évasé pour que l'on n'ait aucune peine à y faire pénétrer le timon opposé. Les clavettes ont, jusqu'à présent, été ajustées exactement dans les mortaises où elles sont placées ; de sorte que le convoi est, pour ainsi dire, d'une seule pièce, et que le départ ou l'arrêt doit se faire en enlevant ou en arrêtant à la fois toutes les voitures dont il se compose.

Difficulté du démarrage.

On craint, et probablement avec raison, que le départ ne soit extrêmement difficile, ou même impossible dans certaines circonstances, avec des convois très-lourds, si cette disposition n'était pas modifiée.

Moyen proposé par M. Arnoux pour faciliter le démarrage.

M. Arnoux pense que l'on remédiera à cet inconvénient si l'on conserve un peu de jeu dans quelques-unes des mortaises où s'engagent les clavettes, et si, par le moyen d'un ressort, on prévient en partie l'effet des chocs que ce jeu dans l'ajustement doit nécessairement produire.

Nous ignorons si cette disposition résoudra la difficulté réelle que nous venons d'indiquer, mais nous ne doutons pas que l'on ne trouve bientôt un autre moyen d'y parer, dans le cas où celui que nous venons d'indiquer ne réussirait pas aussi bien que M. Arnoux l'espère.

Effets des accidents sur les trains.

Quant aux effets d'un accident résultant d'une collision ou d'un déraillement, il est impossible de les prévoir. On sent seulement qu'ils ne seraient pas les mêmes que sur les chemins de fer du système actuel, puisque, dans un train articulé, les voitures ne sont

pas reliées par une simple chaîne qui casse souvent dans les déraillements, mais par des timons en fer très-solidement reliés les uns aux autres. Ces timons, comprimés au moment de l'arrêt de la tête d'un train, mais ne recevant pas de choc, se rompraient-ils? ploieraient-ils? soulèveraient-ils les voitures? les jetteraient-ils de droite ou de gauche? La liaison des voitures augmenterait-elle les accidents ou les rendrait-elle plus rares? Nul ne peut le savoir, et l'expérience seule répondra à ces questions. Jusqu'à présent, elle a été favorable, puisque, depuis six ans, l'on n'a eu aucun accident à déplorer sur le chemin de Paris à Sceaux, malgré l'état d'imperfection où ce chemin se trouve.

Les expériences à faire sur le chemin du Nord ne suffiront pas.

Mais si l'on doit retirer d'utiles enseignements des expériences qui pourront être faites sur des convois de voyageurs parcourant à grande vitesse les chemins de fer ordinaires, à longs alignements rectilignes et à courbes très-adoucies, on ne sera pas éclairé sur les résultats de l'exploitation des chemins construits spécialement pour les voitures articulées transportant non-seulement des voyageurs, mais aussi des marchandises et particulièrement des matières lourdes.

Nécessité de faire des expériences sur un chemin de fer à petites courbes.

Il faut donc que l'on fasse des expériences sur un chemin à petites courbes, et, pour les faire dans un délai qui ne soit pas trop éloigné, on ne voit que le chemin de Sceaux qui puisse en fournir le moyen.

Malheureusement ce chemin, dans son trop court développement, ne permet pas de faire des transports considérables; malheureusement aussi, il a une voie qui n'est pas celle des chemins ordinaires. Il faudrait donc, pour donner des marchandises à transporter au chemin de Sceaux, le prolonger jusqu'à Orsay; il faudrait de plus, pour rendre l'expérience concluante, que l'on ramenât la largeur de sa voie à $1^{m},44$ au lieu

de $1^m$.805 qu'elle a aujourd'hui, et que l'on modifiât son matériel en conséquence de ce resserrement des voies.

Or la compagnie du chemin de Sceaux est dans l'impossibilité de faire ces dépenses et ces essais.

S'il pouvait entrer dans les vues de l'administration, comme l'a dit M. Lechatelier, de donner à la compagnie du chemin de fer de Sceaux les facilités qu'elle réclame pour le prolongement de ce chemin jusqu'à Orsay, ce serait peut-être le moment de réaliser cette mesure, puisqu'elle ouvrirait un champ aux expériences, tant sur le matériel de transport que sur le matériel de traction, employés sur des courbes à faibles rayons.

Facilité que donnerait la concession du chemin de fer d'Orsay à la compagnie du chemin de fer de Sceaux pour expérimenter le materiel.

Pour réduire la largeur de la voie et modifier le matériel, M. Arnoux estime qu'il faudrait 250.000 francs, dont 50.000 francs pour réduire la voie, et 200.000 francs pour le matériel. Il pense que les deux opérations pourraient être terminées dans un délai de cinq à six mois.

Le rétrécissement de la voie à $1^m$,44 est regrettable, parce qu'il nuira à la stabilité du matériel roulant en forçant, soit à rapprocher les points d'appui des voitures, soit à élever le centre de gravité des véhicules. Mais au point où est parvenue la construction des grandes lignes, il est impossible de songer à modifier la voie anglaise de $1^m$,44. Tout ce que l'on peut faire, c'est de chercher à en diminuer les inconvénients.

Si, comme l'a admis M. Lechatelier, l'application du système articulé à l'exécution du réseau central doit procurer, dans les pays très-accidentés, une économie de 100.000 francs par kilomètre, si, par cette économie, on arrive à rendre possibles et productifs des chemins reconnus utiles, mais que l'on ne pourrait ni exécuter raisonnablement ni exploiter avec fruit, à raison de l'exagération des frais d'établissement et de

l'exiguïté des revenus présumés, une dépense de 250.000 francs consacrée à constater définitivement la possibilité de tirer parti du système articulé, sera certainement une dépense productive.

Matériel de traction. — Influence des locomotives actuellement employées sur le chemin de Sceaux.

Comme on l'a vu dans l'analyse du rapport de M. Lechatelier, le matériel de traction, tel qu'il a été appliqué au chemin de Sceaux, ne suffit pas pour assurer le service sur des lignes où il pourra y avoir à remorquer de lourds convois, comme en fourniront certainement les chemins du centre de la France, destinés à traverser des bassins houillers et métallurgiques.

Dispositions proposées par M. Arnoux.

M. Arnoux, comme on l'a vu dans l'analyse du rapport de M. Lechatelier, a eu l'idée de construire des locomotives portées sur huit roues, dont quatre motrices rigides seraient rapprochées vers le milieu de la machine, et les quatre autres articulées seraient placées par couples aux deux extrémités du châssis et accompagnées de galets directeurs. Les quatre roues motrices étant indépendantes d'un côté à l'autre, mais reliées de chaque côté par des bielles qui rendraient solidaires les deux roues placées sur le même rail.

Opinions de MM. Cavé et Houel, constructeurs de locomotives.

Avant d'émettre une opinion sur cette disposition, nous avons cru devoir prendre l'avis de quelques-uns des ingénieurs mécaniciens qui ont acquis une grande habileté dans la construction des locomotives, et pour cela, le rapporteur de la commission est allé, avec M. Arnoux, consulter M. Cavé et M. Houel, ingénieur de la maison Cail.

Ces deux habiles constructeurs ont pensé l'un et l'autre que les roues motrices, montées sur des essieux courts, mues chacune par deux cylindres agissant aux extrémités de ces petits essieux, et portant tantôt sur un côté de leurs larges jantes sans rebords, tantôt sur le côté opposé, se détraqueraient très-promptement.

Ils ont été également unanimes sur le peu d'inconvénient qu'il y aurait à rendre les quatre roues solidaires, si on les plaçait à peu de distance l'une de l'autre ; et ils regardent comme certain qu'une locomotive ainsi disposée fonctionnerait bien sur un chemin à petites courbes.

**Mémoire de M. Couche, sur les progrès des machines locomotives.**

A la suite de cette visite, qui nous rappelait les machines employées en Autriche, sur le chemin de Vienne à Trieste, pour franchir le passage du Sœmmring, nous avons lu avec attention le mémoire de M. Ch. Couche, intitulé : *Des Progrès des machines locomotives et de leur influence sur les conditions de l'établissement des chemins de fer.*

Dans ce remarquable mémoire, M. Couche passe en revue les moyens essayés en Allemagne pour tracer et exploiter les grandes lignes de chemins de fer dans la traversée des chaînes de montagnes qui séparent les principaux bassins de cette contrée. Il examine et discute avec beaucoup de soin les solutions auxquelles les ingénieurs allemands ont été conduits, pour franchir, entre la Bavière et la Saxe, des rampes de 0,025 et des courbes en terrain horizontal de 292 mètres de rayon, et en Autriche, pour traverser les Alpes noriques, dans des circonstances très-défavorables sous le triple rapport des pentes, des courbes et du climat.

Nous ne nous arrêterons pas sur le chemin de fer bavarois, parce que ses pentes rapides ne se rencontraient pas avec les courbes à petit rayon, et que les conclusions que l'on peut en tirer ne s'appliqueraient pas aux localités dans lesquelles le système articulé peut recevoir en France son application.

Nous nous bornerons à examiner les résultats des essais faits en Autriche au passage du Sœmmring, parce que là il y a analogie avec les contrées du centre de la France. Le chemin qui traverse le faîte du Sœmmring,

entre Gloggnitz et Murzzuschlag, à 885 mètres au-dessus du niveau de l'Adriatique, présente, en plan et en élévation, des inflexions très-prononcées.

C'est pour exploiter avec des locomotives un chemin aussi difficile, que le gouvernement autrichien a ouvert un concours auquel quatre constructeurs ont été admis.

Les machines présentées à ce concours n'offrent aucun principe nouveau; mais on y a étendu, probablement jusqu'à son extrême limite, l'application des moyens employés précédemment pour accroître le tirage des machines.

*La Bavaria*, construite à Munich par M. Maffeï, présente un ensemble du poids de 49 tonnes, et avec le tender, l'eau et le bois, 68$^{t}$.32. Ce poids est supporté par quatorze roues de 1$^{m}$.10 de diamètre, couplées, reliées sur chaque côté, soit par des bielles, soit par des chaînes à la Vaucanson. Six de ces roues sont placées sous le tender et huit sous la locomotive. De ces huit, les quatre antérieures sont fixées à un avant-train dans le système américain; les chaînes de connexion entre les roues fixes et les roues de l'avant-train ou du tender, s'engrènent sur des hérissons placés au milieu des essieux.

Cette machine, dont les roues ont 1$^{m}$.10 de diamètre, a remorqué, à la vitesse moyenne de 17$^{k}$.55 à l'heure, un poids brut de 181 tonnes, avec une pression de 6$^{atm}$.88 dans la chaudière. Le parcours était de 6$^{k}$.17, sur lesquels 2$^{k}$.342 en ligne droite et 5$^{k}$.824 en courbes, au nombre de trente, et à rayons variables de 374 à 190 mètres. Ces pentes variaient depuis un palier au départ jusqu'à 0.025, et cette dernière inclinaison se maintenait sur 3292 mètres.

La machine dite *Viener Neustadt*, construite dans la ville de ce nom par M. Günther, est formée d'un grand bâti, sur lequel sont placés la chaudière, l'eau et le dépôt

du bois consommé par la chaudière. Ce bâti porte sur huit roues couplées quatre à quatre et formant ainsi deux avant-trains américains portant les cylindres moteurs.

La machine et ses accessoires pèsent $61^{t}.21$; les roues ont $1^{m}.106$ de diamètre.

Marchant à la vitesse moyenne de $14^{k}.03$ à l'heure, cette machine a remorqué 143 tonnes de poids brut, avec une pression de vapeur de $7^{atm}.24$.

La machine *Seraing*, construite à Seraing (Belgique), est formée comme la précédente d'un bâti porté par huit roues réunies quatre à quatre pour former deux avant-trains du système américain. La vapeur est fournie à chaque couple de cylindre par deux chaudières chauffées par un seul foyer placé au milieu de l'appareil, et recevant le combustible par deux portes latérales.

La machine pèse $56^{t}.05$; ses roues ont $1^{m}.06$ de diamètre. La tension de la vapeur dans les chaudières étant de $5^{atm}.14$, elle a remorqué avec une vitesse moyenne de $13^{k}.56$ à l'heure un poids brut de 145 tonnes.

Enfin la machine *Vindobona*, construite à Glognitz, dans les ateliers du chemin, est une locomotive ordinaire à huit roues couplées, du poids de $47^{t}.26$; ses roues ont $0^{m}.946$, et elle a remorqué, à une vitesse moyenne de 15 kilomètres à l'heure, 144 tonnes, avec une tension de $7^{atm}.85$ dans la chaudière.

Si l'on ramène ces résultats à une échelle commune, en calculant le poids qui aurait été transporté à une vitesse de 1 mille allemand, si le travail est proportionnel à la vitesse, on trouve que les puissances absolues des quatre machines seraient :

| | |
|---|---|
| Pour *Bavaria* . . . . . . . . . | 418 |
| *Seraing* . . . . . . . . . | 277 |
| *Neustadt* . . . . . . . . | 276 |
| *Vindobona* . . . . . . . | 261 |

Ainsi *la Bavaria* avait un avantage considérable sur ses rivales et a dû obtenir le prix ; mais après un certain temps de service les boulons des chaînes de connexion ont commencé à se casser, et il est probable que ces accidents se reproduiront fréquemment à mesure que ces boulons s'useront ; de sorte que la machine *Seraing*, exempte de cet inconvénient, fera sans doute un meilleur usage que la machine *Bavaria*.

Ces expériences, faites avec un soin extrême, ont, dans la question qui nous occupe, une importance très-grande. Elles prouvent que l'on peut, mais avec difficulté, faire marcher une machine rigide *à huit roues couplées* dans des courbes de 190 mètres de rayon, et que des avant-trains du système américain, où les roues sont couplées, marchent bien dans ces mêmes courbes, malgré les rebords dont ces roues sont munies, et malgré l'imperfection évidente des avant-trains à quatre roues comparés aux avant-trains articulés.

Dès lors ne peut-on pas considérer comme assuré le succès d'une machine locomotive construite, soit dans le système indiqué par M. Arnoux, et qui consisterait à mettre en mouvement par deux machines indépendantes les roues couplées portées sur chacun des rails, de manière à les faire travailler en raison du chemin qu'elles auraient à parcourir ; soit en rendant solidaires par les essieux les quatre roues motrices, comme le conseillent MM. Houel et Cavé ; soit enfin en apportant au premier système de M. Arnoux une modification qui remédierait en grande partie à l'inconvénient indiqué par MM. Houel et Cavé. Cette modification consisterait à allonger jusqu'à un longeron placé au milieu du bâti de la locomotive les essieux indépendants des roués correspondantes, de manière à leur donner plus de fixité.

Nous avons soumis cette disposition à l'appréciation d'un troisième ingénieur, M. Servel, ancien directeur des ateliers du chemin d'Orléans, qui a quitté sa position pour diriger un grand atelier de construction. Il pense que l'allongement ainsi obtenu donnerait une garantie suffisante de solidité, et il serait tout prêt à entreprendre la construction d'une machine ainsi disposée. Mais comme il y aurait des dessins à étudier, des modèles particuliers à faire pour une seule machine, probablement des modifications à apporter en cours d'exécution, il estime que l'on dépenserait de 100000 à 110000 francs pour cette machine. Opinion de M. Servel.

Quelle que soit celle de ces trois dispositions que l'on adopte, mais surtout des deux dernières, la locomotive guidée par les galets et les roues convergentes de ses avant et arrière-trains, et ayant quatre roues motrices à jantes plates, fonctionnerait certainement avec moins de frottement que les machines du Sœmmring. L'expérience acquise depuis six ans et demi par l'emploi des machines de Sceaux, qui ont deux roues motrices, sans rebord, suffit d'ailleurs pour rassurer complétement sur l'emploi des machines construites dans le même système, avec quatre roues motrices au lieu de deux. On peut même espérer que les machines à quatre roues rendraient proportionnellement de meilleurs services que les machines actuelles, si les deux roues marchant sur un même rail étaient indépendantes des roues opposées, puisque, par cette disposition, on éviterait le glissement des bandages sur les rails.

Les locomotives ainsi établies sur huit roues auraient d'ailleurs une grande stabilité et beaucoup d'adhérence, parce que l'on pourrait faire supporter aux roues motrices la plus grande partie du poids de l'appareil, ou même les charger directement si cela était nécessaire et si les rails ne devaient pas en souffrir.

Nous pensons donc que les probabilités en faveur de ce système sont assez bien établies pour que l'on puisse se décider immédiatement à en faire l'essai.

De la voie des chemins à voitures articulées. — Largeur de la voie.

Nous avons déjà parlé de la voie à l'occasion des voitures articulées; nous avons vu qu'une voie large leur aurait été plus utile qu'aux voitures des chemins ordinaires, mais qu'au point où la construction des chemins de fer est parvenue en France, il était devenu impossible de modifier la largeur actuelle de $1^m,44$. Ainsi il faut admettre que l'écartement des rails, sur les chemins où l'on adoptera le système articulé, aura cette largeur de $1^m,44$.

Relèvement du rail extérieur dans les courbes.

Mais sur les chemins à petites courbes, où la force centrifuge se fait sentir, il faut dans ces courbes relever le rail extérieur pour empêcher cette force de faire verser les voitures. Au chemin de fer de Sceaux on a donné au rail extérieur une surélévation de $0^m,10$ dans les courbes de 60 mètres de rayon. Cette surélévation, qui doit varier en raison directe du quarré de la vitesse et en raison inverse du rayon, est-elle trop forte ou est-elle bien établie? C'est ce que des expériences spéciales pourront seules faire connaître. Nous nous bornerons à signaler la nécessité de cette différence de niveau des rails dans les courbes.

Applications des chemins destinés à être desservis par des voitures articulées et conditions relatives à leur établissement.

En admettant que les expériences dont nous avons fait sentir l'utilité répondent aux espérances que l'on a pu concevoir de l'emploi du système articulé de M. Arnoux sur le petit chemin d'essai de Saint-Mandé et sur le chemin de fer de Sceaux, conviendrait-il de l'appliquer partout, dans les plaines comme dans les contrées montagneuses? Personne ne le pensera, parce qu'il n'y a pas de motif pour établir de petites courbes dans les pays plats, et que ce système, malgré les perfectionnements qu'il a reçus, exige encore dans la construction des véhicules, et probablement exigera longtemps

dans la construction du matériel de traction des dispositions particulières qui apporteront des limites à sa puissance.

Mais lorsqu'il s'agira d'exécuter les chemins du réseau central et les embranchements des lignes principales qui auront à traverser, comme dans le centre de la France, des contrées très-accidentées, n'y aura-t-il pas avantage à adopter le système articulé? Nous le pensons.

Déjà, en effet, la commission des chemins de fer à bon marché a reconnu que, dans les pays où le sol est tourmenté dans tous les sens, il conviendrait de porter le maximum des pentes à un centième, et de réduire le rayon minimum des courbes à 300 mètres et même à 200 mètres. Mais le matériel rigide employé dans de telles conditions donnerait lieu, comme le prouve l'expérience de la machine *Vindobona*, à de grandes difficultés, et cependant ces rayons de 300 et de 200 mètres ne permettraient pas de contourner les contre-forts des vallées de l'Auvergne.

Nous pensons qu'on réalisera mieux encore les vues de cette commission si, après les expériences dont nous avons parlé, on reconnaît la possibilité d'obtenir des machines assez puissantes pour remorquer de lourds convois sur les chemins à petites courbes. Dans ce cas quelles seraient les limites de pentes et de courbes qu'il conviendrait d'adopter?

Quant aux pentes, la commission, qui a recherché le moyen de faire des chemins à bon marché, a pensé que l'on pourrait porter à 0,01 le maximum fixé autrefois à 0,005. Nous estimons que cette limite doit être maintenue toutes les fois que le relief du sol permet de ne pas la dépasser; mais nous ne verrions pas d'inconvénients à aller au delà et atteindre même l'inclinaison de 0,014 ou 0,015 lorsque, pour faire mieux, on se-

rait obligé ou d'augmenter considérablement les dépenses, ou de développer le tracé d'une manière exagérée pour arriver à une pente moindre.

La même commission avait fixé la limite des rayons des courbes à 300 et à 200 mètres, et en fixant cette limite, elle avait peut-être été bien loin pour l'emploi du matériel rigide. Mais avec les voitures articulées on peut arriver aux plus petites courbes, 25 et 30 mètres, sans que les rebords des roues frottent contre les rails. Cependant nous ne sommes pas d'avis de réduire à un si faible chiffre la limite des rayons :

1° Parce que la force centrifuge agit avec une telle intensité dans les petites courbes, que les voyageurs ne pourraient pas se maintenir dans la position verticale et que, dans les lacets que comporte le système, ils seraient alternativement jetés à droite ou à gauche d'une manière très-fatigante ;

2° Parce que si les convois prenaient une vitesse sensiblement plus grande que la vitesse normale, il y aurait des chances de renversement ;

3° Enfin parce que, pour circuler dans les courbes d'un trop faible rayon, il serait nécessaire de réduire beaucoup trop la vitesse que l'on recherche particulièrement sur les chemins de fer.

Par ces motifs, nous pensons qu'il conviendrait d'adopter 100 mètres pour le minimum de rayon des courbes, sans interdire cependant la faculté de le réduire à 60 ou à 50, si la configuration du sol rendait cette mesure très-utile sur une certaine portion du parcours.

On devrait en effet y renoncer et faire un sacrifice pour éviter cette réduction sur un point unique, parce que cette seule courbe forçant à ralentir la vitesse, imposerait à l'exploitation une très-grande gêne, à laquelle on ne doit s'assujettir qu'autant que l'on y trouve

un avantage considérable sous le rapport de la dépense.

A l'occasion des courbes à petit rayon, nous devons appeler l'attention sur la nécessité de renoncer dans leur tracé à l'emploi du cercle. En effet, quand on passe d'un alignement droit dans un cercle de 60 et même de 100 mètres, le passage subit de la direction rectiligne à la direction courbe produit une espèce de secousse fort désagréable pour les voyageurs et probablement fort préjudiciable au matériel. Pour éviter cet effet, il faudra nécessairement raccorder les alignements aux courbes par des portions de paraboles tangentes, ou même faire les courbes paraboliques en ayant soin de ne jamais dépasser les rayons de courbure indiqués précédemment.

### *Résumé et avis.*

Il résulte des considérations qui précèdent :

En ce qui touche les voitures de transport à essieux articulés :

1° Que les expériences faites sur le chemin de fer de Sceaux avec des vitesses ordinaires, et sur le chemin du Nord avec des vitesses de 80 à 84 kilomètres à l'heure, ont jusqu'à présent été favorables à ce système appliqué aux convois de voyageurs ;

2° Que de nouvelles expériences sur ce même matériel vont probablement être entreprises par les compagnies du Nord et d'Orléans avec des trains complets affectés au service des communications à grande vitesse (1) ;

(1) Le 5 mars la compagnie du Nord voulant donner suite aux expériences qu'elle avait faites avec les voitures articulées que lui avait préparées la compagnie d'Orléans, a ouvert un crédit de 80.000 francs au chef de l'exploitation pour faire construire les deux trains complets dont il est question dans le cours de ce rapport.

3° Que l'on ignore jusqu'à présent comment se comporterait un convoi complet formé de wagons lourdement chargés; comment il démarrerait; comment on l'arrêterait; ce que deviendraient les barres d'attelage dans les collisions ou les arrêts subits; que dès lors il y aurait un très-grand intérêt à faire des expériences pour éclaircir les points importants de la question, et à les faire même sur un chemin à petites courbes.

En ce qui touche le matériel de traction :

1° Que jusqu'à présent on n'a construit ni par conséquent essayé de machines locomotives articulées assez puissantes pour remorquer de lourds convois sur les chemins de fer à petites courbes;

Que cependant les machines à deux roues motrices et à bandes plates employées au chemin de fer de Sceaux, et les essais faits sur le chemin de fer de Vienne à Trieste au passage du Sœmmring, dans des courbes de 190 mètres de rayon, avec des pentes de 0,025, garantissent le succès des tentatives que l'on ferait pour construire des locomotives à quatre roues motrices, guidées sur la voie par quatre roues directrices articulées.

Que dès lors il y aurait utilité à faire construire une locomotive dans ce nouveau système et à l'essayer avec des convois lourdement chargés; mais que l'étude et l'établissement de cette machine d'un nouveau modèle, nécessitant des tâtonnements et peut-être des changements en cours d'exécution, pourrait entraîner dans une dépense de 100 à 110 000 francs;

2° Que pour faire des expériences concluantes avec cette locomotive et avec les wagons à marchandises lourdement chargés, il faudrait que ces expériences fussent faites sur un chemin à petites courbes, et que, par conséquent, il serait à désirer qu'il pût entrer dans les vues de l'administration de donner à la compagnie

du chemin de Sceaux les moyens de prolonger ce chemin jusqu'à Orsay et de l'aider à modifier sa voie et son matériel pour les ramener à la largeur ordinaire; mais que ces modifications entraîneraient dans une dépense que M. Arnoux évalue à 250 000 francs.

En ce qui touche la voie des chemins destinés à recevoir le matériel articulé;

Que malgré l'avantage de la voie de $1^m,80$ sur celle de $1^m,44$, surtout pour les chemins à petites courbes, il convenait d'adopter cette dernière voie, parce que l'étendue du réseau déjà exécuté pour l'établissement des grandes lignes ne permet pas d'y apporter de changements.

En ce qui touche l'application du système articulé et les conditions à imposer pour son exécution :

1° Que, d'après les évaluations faites par la commission chargée d'étudier les moyens de construire des chemins de fer à bon marché et d'après les conséquences qu'en a déduites M. Lechatelier dans son rapport du 1^er^ février dernier, on peut espérer que l'application du système articulé à l'exécution d'un chemin à une voie permettrait de réaliser sur les dépenses relatives aux terrassements et aux ouvrages d'art, une économie d'environ 70 000 francs dans les terrains très-difficiles, et de 100 000 francs dans les contrées présentant des difficultés exceptionnelles comme on en rencontrera, lorsque l'on mettra en communication, par les montagnes de l'Auvergne, les villes de Lyon, Limoges, Toulouse et Bordeaux;

2° Que si les expériences indiquées précédemment pour constater les qualités du matériel articulé employé soit à la traction, soit au transport sur les chemins à fortes pentes et à courbes de faibles rayons, réalisaient les espérances que l'on est fondé à concevoir, d'après

les résultats déjà obtenus, il y aurait avantage à exécuter suivant ce système, que l'on pourrait appeler le *système français*, les chemins de fer du réseau central, et les embranchements des voies principales, lorsque ces embranchements auraient à traverser des pays très-accidentés;

3° Que dans le cas où l'on adopterait ce nouveau système il y aurait lieu :

De fixer la limite ordinaire des pentes à 0.01, et celle des rayons des courbes à 100 mètres. En autorisant cependant les ingénieurs à porter ces limites à 0.014 ou 0.015 pour les pentes, et à 60 et même 50 mètres pour les rayons des courbes, lorsque les difficultés tout à fait exceptionnelles du sol rendraient cette extension nécessaire;

De raccorder les courbes aux lignes droites par des arcs de paraboles, afin de prévenir l'espèce de secousse produite dans une masse animée d'une grande vitesse quand elle change brusquement de direction.

Paris, le 5 mars 1853.

Depuis la rédaction de ce rapport, un décret impérial a accordé à la compagnie du chemin de fer de Sceaux, non-seulement la concession du prolongement de ce chemin jusqu'à Orsay, mais, en outre, les subventions nécessaires pour faire les expériences indiquées précédemment.

De son côté, M. Arnoux a poussé avec activité l'étude détaillée d'une locomotive disposée suivant le système indiqué précédemment, et il fait exécuter en ce moment des voitures dans lesquelles les caisses sont portées par les essieux non-seulement en dedans, mais aussi en dehors des roues, de manière à prévenir le mouvement de roulis qui s'est fait sentir lorsque l'on a employé le matériel articulé sur la voie de 1m.44.

L.-C. M.

# NOTE

sur

LES MODIFICATIONS RÉCEMMENT ADOPTÉES POUR LA CONSTRUCTION DU MATÉRIEL ARTICULÉ;
DESTINÉ AU CHEMIN DE FER DE PARIS A ORSAY.

Par M. C. COUCHE,
Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

---

La date du document qui précède est déjà ancienne; il convient donc d'indiquer aujourd'hui où en est la réalisation des projets développés dans ce rapport; réalisation à laquelle il a puissamment concouru.

Le type du moteur, dont M. Arnoux a étudié les détails de concert avec un autre ingénieur expérimenté, M. Meyer, est complétement arrêté, et la construction des deux locomotives se poursuit activement.

Le système articulé est fondé sur des principes absolus, parce qu'ils sont logiques. Ce n'est pas par des demi-mesures, par des tempéraments, qu'on peut le compléter, mais en appliquant résolument à la machine elle-même les deux dispositions qui caractérisent le matériel de transport; c'est-à-dire l'indépendance des deux files de roues, et la faculté de convergence *réglée* des essieux.

La première condition entraîne celle de l'indépendance des deux moteurs placés de part et d'autre de la chaudière; et celle-ci exige à son tour pour chaque roue motrice, l'application de deux pistons agissant sur des manivelles à angle droit : car avec un seul piston de chaque côté la coëxistence fortuite des deux *points morts* pourrait rendre le démarrage très-difficile, et il

le serait même avec un seul piston à fond de course; la machine tendrait alors à pivoter sur la roue motrice menée par ce piston.

Cette considération exclut une solution qui se présente tout d'abord comme dérivant naturellement du système ordinaire : elle se réduit à rendre folles les roues motrices d'une machine à cylindres extérieurs et à châssis intérieur, en transportant les poulies d'excentrique sur les moyeux. — Mais une autre objection grave s'élève encore contre cette disposition : la nature et l'intensité des efforts auxquels la roue est soumise, et qui se déplacent constamment sur la ligne de contact de la jante et du rail, exigent que la roue soit maintenue de chaque côté à une assez grande distance de son plan moyen. Un long moyeu ne remplirait qu'imparfaitement cette condition, réalisée d'une manière bien plus complète par un *demi-essieu* solidaire avec la roue, et à tourillons assez écartés.

Jusqu'à quel point une marche régulière de la machine est-elle compatible avec le jeu indépendant de chacun des deux moteurs? Les vitesses angulaires devenant indépendantes, et le frottement de glissement n'intervenant plus comme régulateur du mouvement de translation, ainsi que cela a lieu avec les roues conjuguées, dès que l'une tend à prendre l'avance sur l'autre, n'est-il pas à craindre que les roues ne prennent des deux côtés des vitesses de rotation presque constamment inégales, sous l'influence des inégalités qui affectent nécessairement les valeurs simultanées des résistances, et des moments moteurs? N'y a-t-il pas là, en un mot, une cause de *lacet* très-prononcé?

C'est ce que l'expérience apprendra bientôt : mais les présomptions sont favorables. Les essais prolongés faits à grande vitesse sur des waggons prouvent sura-

bondamment que la liberté des roues ne trouble en rien la régularité du mouvement en alignement droit, malgré le défaut inévitable de symétrie des résistances, défaut en rapport avec l'état des rails, la répartition inégale de charge entre les deux roues, des différences dans le graissage, etc. Si la solidarité des roues n'est nullement une condition essentielle pour les wagons, elle ne l'est probablement pas davantage pour les machines — toujours au point de vue du parcours en alignement droit. Les perturbations qu'on peut au premier abord redouter à cet égard sont en effet d'une tout autre nature que celles que développent les mouvements relatifs dans les locomotives; et l'inertie des masses entraînées dans le même mouvement de translation que les roues peut suffire pour assurer à chaque instant l'égalité des vitesses de rotation des deux côtés, malgré le défaut de symétrie des actions auxquelles les roues sont soumises. C'est ainsi que dans les machines ordinaires à roues conjuguées l'uniformité du mouvement de rotation a très-sensiblement lieu, sous l'influence des masses, malgré les variations du moment moteur.

Les appareils à galets, enchâssés entre les rails, s'opposent d'ailleurs aux oscillations de la machine, mais il ne faudrait pas que la prédisposition à ces mouvements fût trop prononcée, car des obstacles placés aussi bas ne suffiraient pas pour la combattre efficacement, et les faces latérales des champignons des rails souffriraient beaucoup quand même on assurerait, comme M. Arnoux se propose de le faire, l'application constante des galets contre les rails, ce qui aura entre autres avantages celui d'éviter les chocs.

La machine qui est à la fois, comme on le voit d'après ce qui précède, à *cylindres et à châssis intérieurs et*

*extérieurs*, est supportée par huit roues : les quatre intermédiaires, adhérentes : — les quatre extrêmes, directrices.

La solidarité des roues écartée, il restait pour compléter l'œuvre, à utiliser pour l'adhérence la plus grande partie du poids de la machine. L'accouplement au moyen de bielles rigides reste en définitive le seul moyen pratique de transmettre le mouvement de rotation d'une roue à une autre qui la précède, ou la suit; celle-ci est donc nécessairement, comme la roue motrice elle-même, rattachée au châssis d'une manière invariable. Les quatre roues adhérentes équivalent ainsi, au point de vue du parcours en courbe, à quatre roues folles montées sur des essieux parallèles; mais avec un faible écartement, ce parallélisme n'est plus qu'une imperfection théorique. Or quand l'accouplement est nécessaire, le diamètre des roues adhérentes est très-limité.

Chacun des demi-essieux moteurs, commandé par deux bielles motrices, agit donc sur l'essieu suivant au moyen de deux bielles d'accouplement, entre lesquelles sont compris les deux longerons, intérieur et extérieur.

Les poulies d'excentrique sont calées sur une fausse manivelle, comme dans les machines *Crampton* du chemin du Nord, et le mécanisme de distribution placé dès lors extérieurement. La transmission est indirecte, et le tiroir horizontal.

Les roues couplées sont chargées de part et d'autre au moyen d'une suspension à balancier inférieur, et supportent ainsi des pressions égales.

Les deux essieux extrêmes sont, comme ceux des machines actuelles du chemin de Sceaux, rattachés au châssis par une cheville ouvrière, à roues libres, et

à galets directeurs ; mais on peut, dans le nouveau type de machines, réduire, autant qu'on le veut, le contingent des essieux extrêmes dans la répartition du poids suspendu : il suffit qu'ils soient pourvus de ressorts assez rigides pour empêcher les soubresauts de la machine, pour limiter ses oscillations verticales, et leur charge normale peut être sans inconvénient très-faible. Ces essieux sont d'ailleurs indispensables, abstraction faite de toute autre considération, ne fût-ce que pour supporter l'appareil à galets, qui ne peut évidemment être suspendu au châssis, et participer aux oscillations des ressorts.

Le matériel de transport reçoit de son côté des modifications importantes qui le rapprochent des conditions du matériel ordinaire sans altérer en rien, d'ailleurs, ses propriétés spéciales.

Tout le système destiné à opérer la liaison et la convergence des essieux, — flèches, timons, losanges articulés, sassoires, etc., est transporté au-dessus des ressorts, — appliqué contre le châssis. Tout cet appareil est ainsi suspendu, et ne *ferraille* pas. L'essieu est remplacé dans le réseau articulé par une forte entretoise liée à des plaques de garde qui transmettent à l'essieu lui-même les mouvements de translation et de convergence, et dont la partie supérieure porte les sassoires. Les plaques de garde et les ressorts, qui sont à pincettes, sont doubles pour chaque roue. Cette disposition, qui assure aux caisses plus de stabilité transversale, n'introduit pas de complication notable, par suite de la fixité des essieux ; le poids des pièces doublées est réduit en conséquence. La mobilité de l'essieu dans ses collets est d'ailleurs un de ces avantages purement théoriques qu'on peut sacrifier sans scrupule. Cette mobilité est à coup sûr fort rarement en jeu, et d'au-

tant moins que le graissage des roues s'opère mieux.

Ce graissage présente une particularité assez remarquable. La fusée est forée dans toute sa longueur, et forme ainsi réservoir d'huile : ce conduit circulaire se redresse verticalement vers l'extrémité extérieure de la fusée, et aboutit à la lumière d'alimentation. Un petit embranchement vertical, dirigé vers le bas, amène l'huile à la chambre annulaire du moyeu.

31 janvier 1854.

# NOTE

## SUR L'ARGENT IODÉ DU CHILI.

Par M. A. DAMOUR.

Le minerai d'argent qui fait l'objet de cette note a déjà été décrit dans un intéressant mémoire publié par M. Domeyko (*Annales des mines*, t. VI, p. 158). Mais les résultats de l'analyse, tels qu'on les trouve reproduits dans plusieurs traités de minéralogie, ne sont nullement d'accord avec la formule que l'on assigne à cette espèce : on y voit en effet que l'argent iodé serait formé de :

| | |
|---|---|
| Argent. . . . . . . . . | 0.6425 |
| Iode. . . . . . . . . . . . | 0.4689 |
| | 1.1114 |

On remarque ici un excédant de poids d'environ 11 p. 100 qu'on ne peut guère attribuer qu'à une erreur typographique, ou bien à une interprétation erronée des dosages et des calculs exécutés par M. Domeyko. Désirant lever l'incertitude qui peut exister encore sur la composition de cette substance, M. de Sénarmont m'a engagé à reprendre l'analyse de l'argent iodé naturel, et a bien voulu me remettre, pour cet objet, des échantillons de cette matière parfaitement purs, et provenant de la mine de Chañarcillo, au Chili.

Cette matière minérale, entièrement dégagée de sa gangue calcaire et de la matière argileuse qui l'accompagne, se rapporte exactement à la description qu'en a donnée M. Domeyko. Sa structure est cristalline, et un

clivage très facile permet d'en séparer des lames qui offrent les mêmes caractères optiques que les cristaux décrits par M. Descloizeaux dans les *Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ série, t. XL ; sa forme appartient donc au système rhomboédrique. Sa couleur est le jaune de soufre pâle : cette couleur n'est pas altérée par la lumière diffuse. Le minéral est tendre, fragile, et se laisse aisément pulvériser. J'ai trouvé sa densité égale à 5,707 en opérant à + 8 degrés centigrades, sur 1ᵍ,4810 de matière. M. Domeyko avait trouvé : 5,50. Cette différence doit tenir à ce que ses échantillons étaient moins purs que ceux que j'ai soumis à l'expérience.

Exposé à une température de + 300 degrés centigrades, l'argent iodé se colore en jaune orange foncé ; il reprend sa couleur jaune pâle en se refroidissant. On peut, à plusieurs reprises, observer ces changements successifs de couleur sur un même échantillon. Au rouge naissant, il fond en prenant une teinte brune, presque noire ; il se fige en refroidissant, et sa couleur jaune pâle apparaît de nouveau.

Chauffé seul sur le charbon, il fond, se décompose peu à peu en donnant des vapeurs d'iode, et laisse des globules d'argent métallique entourés d'une auréole brune assez semblable à celle que produit l'oxyde de cadmium.

Fondu avec le carbonate de soude, il se décompose en donnant naissance à de l'iodure de sodium : l'argent est réduit à l'état métallique. Si l'on dissout dans l'eau le sel de soude, et qu'on le sursature avec de l'acide azotique, l'iode est mis en liberté, et colore immédiatement en bleu les fragments d'amidon sec qu'on jette dans la liqueur.

Réduit en poudre et chauffé dans un tube de verre jusqu'au degré de l'ébullition, avec l'acide azotique pur,

il n'est attaqué qu'avec lenteur et dans une faible proportion : une quantité très-minime d'iode se dégage et colore la liqueur en rose. Cette couleur ne se montre qu'après que la liqueur acide a cessé de bouillir ; elle disparaît dès qu'on l'expose de nouveau à l'ébullition. La décomposition se fait avec rapidité si l'on ajoute une goutte d'acide chlorhydrique ou un fragment de chlorure de sodium à la liqueur azotique chaude. Dans ce cas, il se dégage de l'iode à l'état de vapeurs violettes qui bientôt se condensent sur les parois du tube.

L'acide chlorhydrique bouillant le dissout en faible proportion sans le décomposer.

L'acide sulfurique concentré et bouillant l'attaque avec dégagement des vapeurs violettes d'iode.

Ces caractères seraient sans doute suffisants pour distinguer l'espèce. Je vais indiquer cependant une autre méthode qui m'a paru rentrer dans le cadre des plus simples essais minéralogiques, et qui permet d'opérer sur une quantité très-faible d'argent iodé.

On place sur une lame de zinc fraîchement décapée, un petit fragment de la matière d'essai. On enveloppe ce fragment de quelques gouttes d'eau distillée. On observe bientôt que l'iodure devient noir foncé et se transforme en une masse spongieuse qui se gonfle en laissant dégager quelques bulles ; cette masse spongieuse n'est autre que de l'argent métallique qu'on peut réduire en lamelles brillantes par la compression avec une baguette de verre. La liqueur aqueuse renferme alors de l'iodure de zinc très-soluble. On décante cette liqueur en évitant qu'elle entraîne de l'argent métallique, et on la verse dans un verre de montre : on y ajoute quelques fragments d'amidon sec, puis enfin un peu d'acide azotique. Quelques instants suffisent pour déterminer la réaction bien

connue de l'iode sur l'amidon. La couleur bleu foncé apparaît très-nettement. Cette opération est plus longue à décrire qu'à exécuter. Un milligramme d'iodure d'argent suffit pour donner des résultats facilement appréciables.

En suivant ce procédé, j'ai constaté la présence de l'iode sur deux échantillons de bromure d'argent en grains cristallins vert olive qui proviennent de la mine d'Huelgoat en Bretagne.

J'ai cru pouvoir m'en servir aussi, mais avec quelques modifications, pour l'analyse quantitative de l'iodure d'argent.

La matière a été chauffée jusqu'au rouge naissant, dans une petite capsule de porcelaine tarée. La masse fondue et refroidie a été placée sur la balance avec la capsule, et l'on a constaté qu'elle n'avait rien perdu de son poids. On a versé de l'eau distillée sur la masse fondue, et l'on y a placé un fragment de zinc pur ; le tout est resté en digestion pendant vingt-quatre heures. Après cet intervalle, on a trouvé l'iodure d'argent entièrement décomposé. Une masse spongieuse grisâtre flottait à la surface de la liqueur : comprimée avec une baguette de verre, elle a donné des lamelles d'argent ayant l'éclat métallique. La liqueur, claire et parfaitement incolore, a été décantée, puis on a lavé à plusieurs reprises l'argent métallique resté avec le zinc au fond de la capsule. Les eaux de lavage ont été réunies à la liqueur décantée en premier lieu.

Cette liqueur contenait de l'iodure de zinc : on l'a versée dans une dissolution d'azotate argentique très-étendue d'eau. Il s'est précipité immédiatement de l'iodure argentique en flocons jaunâtres. Après vingt-quatre heures de repos, la liqueur, complétement éclaircie, a été décantée, et l'iodure argentique resté au

fond du vase a été lavé à plusieurs reprises avec de l'eau bouillante. Cette précaution était nécessaire pour enlever toute trace du sel de zinc et de l'azotate argentique qu'il avait entraînés en se précipitant. L'iodure séché, puis chauffé à 300 degrés et pesé, a permis de déterminer la quantité d'iode contenue dans le minéral. Son poids était égal, à un milligramme près, à celui de la matière employée à l'analyse.

La liqueur séparée de l'iodure argentique ne renfermait alors que de l'azotate zincique et de l'azotate argentique, qu'on avait mis en excès pour opérer la complète précipitation de l'iode.

L'argent métallique séparé de la dissolution d'iodure zincique n'était pas entièrement pur ; il contenait un peu de zinc : c'est en effet ce qui arrive toujours lorsqu'on se sert de ce dernier métal pour opérer la réduction des sels d'argent. On l'a fait dissoudre dans l'acide azotique, puis on l'a précipité à l'état de chlorure par quelques gouttes d'acide chlorhydrique. Le poids de ce chlorure a permis d'évaluer la proportion d'argent combinée à l'iode dans le minerai essayé.

La moyenne de deux analyses m'a donné :

| | |
|---|---|
| Argent . . . . . . . . . | 0.4572 |
| Iode. . . . . . . . . . | 0.5403 |
| | 0.9975 |

On en tire la formule AgI'.

Le calcul donne :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ag | = | 1349,660 | = | 0,4598 |
| I' | = | 1585,992 | = | 0,5402 |
| | | 2935,652 | = | 1,0000 |

# NOTICE

## SUR UN GISEMENT D'ASPHALTE AUX ENVIRONS D'ALAIS.

Par M. PARRAN, ingénieur des mines.

---

**Fréquence des gisements asphaltiques dans les terrains tertiaires.** Quand on étudie la constitution des terrains tertiaires dans les différents pays, et notamment les dépôts lacustres si nombreux dans cette période, on y remarque généralement un système de couches charbonneuses, alternant avec des sables, des argiles et des calcaires bitumineux, et renfermant des coquilles fossiles, fluviatiles et terrestres. Des amas de gypse, des sources minérales, salées, sulfureuses leur sont souvent subordonnés. Quelle que soit l'origine de ces substances, qu'elle soit due à des émanations intérieures se faisant jour par des fissures de dislocation, ou à des circonstances extérieures et atmosphériques, il est permis de reconnaître qu'il y a eu pendant la période tertiaire *une époque asphaltique*, en regard de laquelle il convient de rappeler les nombreuses éruptions de trachytes et de basaltes qui caractérisent cette période et ont vraisemblablement agi par distillation sur les amas de combustibles recélés dans le sein de la terre.

**But de cette notice et publications qui l'ont précédée.** Le but de cette notice est de donner la description d'un gîte de cette nature situé près d'Alais (Gard), pays si remarquable par ses richesses minéralogiques.

D'anciens auteurs, parmi lesquels l'abbé de Sauvages et Gensanne, avaient constaté la présence du bitume ou poix minérale auprès d'Auzon, de Servas, d'Hyeuset, etc. Buffon a rappelé leurs observations dans son histoire des minéraux. M. d'Hombres

Firmas a publié en 1818 (t. IX de la *Bibl. univ.*) un mémoire sur l'*asphalte et les pétrifications d'Auzon*. M. de Malbos (*Bull. de la Soc. de géol.*, t. X) signale l'existence du bitume et du lignite dans la plaine de Barjac, et M. E. Dumas en a tracé sur sa belle carte géologique les principaux affleurements. Enfin M. Roch, docteur-médecin, a publié dernièrement des *études chimiques et médicales* sur les sources minérales d'Auzon.

Les couches tertiaires aux environs d'Alais sont exclusivement lacustres. Rapportées par M. Dufrénoy à l'étage moyen, elles le sont par plusieurs géologues du Midi à l'étage inférieur. M. Gervais motive à cet égard son opinion sur les ossements de *palæotherium*, d'*anthracotherium* et de *pterodon*, trouvés dans le calcaire lacustre d'Alais, qu'il regarde alors comme parallèle du gypse parisien. M. de Roys considère aussi comme éocène (*Compte rendu du congrès géologique d'Alais*) la formation qui nous occupe. Nous ne voulons pas ici discuter cette question, mais rappelons que dans son récent ouvrage, M. *Élie de Beaumont* nous paraît admettre implicitement les vues de M. Dufrénoy, en rapportant à l'étage moyen les lignites de *Fuveau*. **Terrain tertiair d'Alais.**

Les couches lacustres de l'arrondissement d'Alais forment à l'est de cette ville une bande allongée du nord-est au sud-ouest, depuis Salavas jusqu'à Masillargues (voir la grande carte de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont). Cette bande se bifurque à *Barjac*, en se dirigeant vers *Bagnols* dans la partie nord pour former le bassin de la *Cèse*, et à *Méjannes-les-Alais* en se dirigeant vers *Uzès*, dans la partie sud, pour former le bassin du *Gardon*. Elle contourne par conséquent le massif nécomien du *Bouquet*, qui se rattachait à un groupe d'îles baignées par les eaux tertiaires de la Provence et du Languedoc. Le lignite est très-répandu

dans la plaine de Barjac et dans son prolongement; mais le bitume ne se montre guère qu'à la limite des terrains tertiaires et crétacés, au pied du massif du Bouquet. Il est principalement abondant entre Mons et Auzon, dont la distance de 5 à 6 kilomètres est occupée par quatre concessions. Celle de *Servas*, la plus riche et la plus rapprochée d'Alais, est en exploitation depuis cinq années. Le terrain lacustre dont nous allons étudier la partie bituminifère s'est déposé dans une vaste dépression des terrains secondaires représentée ici par les formations néocomiennes et chloritées. Les parois et le fond de cette dépression sont recouverts d'un conglomérat solide, à ciment argilo-calcaire formé aux dépens des roches secondaires. Ce conglomérat passe dans sa partie inférieure à une brèche marborescente à blocs volumineux produite par un remaniement grossier de la superficie des terrains crétacés.

Voici (Pl. IV, *fig.* 1) une coupe allant du nord-ouest au sud-est et traversant au-dessus de Servas la région asphaltique (de Laliquière à Boudet) :

A. { 9. Grès fin, friable, sables, argiles (couche la plus récente).
8. Bancs de lignites.
7. Argiles et grès. }
B. 6. Grès (pierre de taille), calcaires blancs marneux.
C. { 5. Argiles, marnes et lignites.
4. Argiles plastiques, grès avec empreintes végétales. }
D. 3. Calcaires asphaltiques.
E. 2. Argiles, grès, poudingues.
F. 1. Brèches-marbres du terrain crétacé inférieur.

Lignite. Les trois premiers termes de cette série forment au-dessous du hameau de Ceylas un petit dépôt indépendant. Ils se présentent en effet en couches horizontales, tandis que les assises inférieures sont fortement relevées vers l'est. Le toit des bancs charbonneux est formé par un grès calcaire plus ou moins friable, passant à

une argile sablonneuse et d'un mètre de puissance. Un calcaire marneux, blanchâtre, très-riche en coquilles terrestres, *bulimes*, *cyclostomes*, alterne quelquefois avec ce grès. Le lignite de Ceylas présente une structure et une compacité comparables à celles du jayet; il est noir, sec, friable après son exposition à l'air, contient fort peu de pyrites, brûle facilement avec une longue flamme et une odeur bitumineuse prononcée. Il renferme accidentellement de l'ambre jaune, mais il a perdu toute trace d'organisation végétale. Les feuillets stériles de grès ou de marnes qui divisent la masse de combustible abondent en coquilles fluviatiles : *unios*, *anodontes*, *planorbes*, dont les débris sont blanchis comme par l'action d'un acide ou de la chaleur. Le nombre considérable de ces fossiles, l'alternance régulière de filets charbonneux et stériles, démontrent que ces dépôts se sont effectués lentement. On n'a pas encore exploité ce combustible d'une manière suivie; il serait d'un emploi fort avantageux pour la cuisson de la chaux et le chauffage des magnaneries, surtout avec les prix actuels de la houille.

Les calcaires blancs marneux (6) qui alternent avec les lignites inférieurs sont remarquables par leur structure feuilletée et le nombre de *conques fluviatiles*. *cyclades*, *cyrènes*, dont ils renferment les débris et les empreintes.

Les lignites inférieurs se présentent en couches relevées vers l'est, au milieu de marnes et d'argiles bleuâtres; ils ont les mêmes caractères que les précédents, et on peut en voir de beaux affleurements au-dessous du hameau de la Sorbière.

Les tiges et les feuilles végétales dont il ne reste plus de vestiges dans le lignite ont laissé de nombreuses empreintes dans les couches du toit et dans celles du

mur ; on trouve parmi ces dernières un banc de grès calcaro-ferrugineux imprégné quelquefois de bitume et renfermant des feuilles de Phyllives melastomaceæ ou de Laurineæ (1) d'une admirable netteté.

Calcaires asphaltiques. Buffon et l'abbé de Sauvages.

Arrivons aux calcaires asphaltiques, et qu'on nous permette de rappeler à ce sujet les observations de l'abbé de Sauvages, citées par Buffon dans son histoire des minéraux.

« On voit régner auprès de *Servas*, à quelque distance d'Alais, sur une colline d'une grande étendue, un banc de rochers de marbre qui pose sur la terre et qui en est couvert ; il est naturellement blanc ; mais cette couleur est si fort altérée par l'asphalte qui le pénètre qu'il est, vers sa surface supérieure, d'un brun clair, et ensuite très-foncé à mesure que le bitume approche du bas du rocher. Le terrain du dessous n'est point pénétré de bitume, à la réserve des endroits où la tranche du banc est exposée au soleil. Il en découle en été du bitume qui a la couleur et la consistance de la poix noire végétale. Il en surnage sur une fontaine voisine, dont les eaux ont, en conséquence, un goût désagréable. Dans le fond de quelques ravines et au-dessous du rocher d'asphalte, j'ai vu un terrain mêlé alternativement de lits de sable et de lits de charbon de pierre, tous parallèles à l'horizon.... » Buffon conclut de ces dernières lignes que le charbon de pierre a produit le bitume par une distillation ascendante ; conclusion dont la position relative des couches charbonneuses et bitumineuses démontre la fausseté.

Les calcaires asphaltiques se composent de plusieurs assises : les unes dures, compactes, grisâtres, renfermant des débris de mélanies ; les autres blanches,

(1) Déterminées par M. Duval.

schisteuses, présentant la texture de la craie, et par là très-propres à absorber le bitume : ce sont celles-ci que l'on exploite. Elles forment un horizon très-net dans toute la contrée ; leurs fragments affectent constamment une cassure prismatique et pseudo-régulière ; ils renferment du silex brun en rognons aplatis, des moules et des empreintes de bivalves fluviatiles, des tiges et des feuilles carbonisées ; enfin ils exhalent par le choc une odeur asphaltique prononcée, qui leur a fait donner dans le pays le nom de *pierre puante*.

**Minerai de bitume.**

Le calcaire bitumineux proprement dit, exploité pour la fabrication de l'asphalte, présente plusieurs variétés : tantôt il est terreux, criblé de cellules que le bitume a pénétrées ultérieurement ; tantôt il est simplement enduit ou tacheté par cette substance ; d'autres fois, enfin, l'imbibition s'est opérée d'une manière complète, mais toujours par zones ou bandes parallèles qui impriment au minerai un aspect rubané. Les deux dernières variétés donnent par liquation du bitume pur, tandis que la première se désagrége et se fond en masse sous l'action de la chaleur. Les échantillons les plus riches tiennent environ 15 p. 100 de bitume, et n'en donnent par liquation que 3 ou 4.

L'eau bouillante et l'alcool n'exercent pas d'action sensible sur l'asphalte de Servas ; l'éther acétique l'attaque lentement ; mais l'essence de térébenthine le dissout très-vite et en totalité, en laissant un résidu blanc. Notre minerai se rapproche, comme on voit, du calcaire bitumineux de Lobsann et de Seyssel.

**Infériorité des minerais calcaires.**

M. Daubrée a déjà signalé (*Ann. des mines*, 4e série, t. XVI) la difficulté qu'on éprouve à retirer le bitume de ces calcaires si riches, tandis que les grès et sables de Béchelbronn, de Seyssel et de Bastennes, beaucoup plus pauvres, abandonnent par une simple ébullition

dans l'eau tout celui qu'ils renferment, à peu de chose près. On comprend, en effet, sans parler des réactions chimiques qui peuvent intervenir, que la force de capillarité, si énergique pour imbiber de matières huileuses toutes les terres grasses, ne joue plus qu'un rôle secondaire lorsqu'il s'agit d'un grès ou d'un sable quartzeux ; ce n'est plus alors, pour ainsi dire, qu'un empâtement extérieur, dont une forte ébullition dans l'eau vient facilement à bout. La solution industrielle consisterait à trouver un dissolvant économique du bitume emprisonné dans le calcaire, et laissant toutefois au ciment, produit définitif de l'opération, ses qualités essentielles. C'est un désavantage sérieux pour le gîte d'Alais d'être privé de ces grès bitumineux si faciles à laver ; car, après avoir essayé d'extraire le bitume par liquation des minerais calcaires, on a reconnu que les pertes étaient assez considérables pour qu'il fût plus avantageux de broyer simplement le calcaire et de le mélanger avec les graisses que les ateliers de Bastennes livrent au commerce. Il n'est pas douteux, si cette industrie prend de l'essor dans le Gard, qu'on ne trouve le moyen d'éviter ces achats onéreux et de se suffire avec les ressources locales.

**Dislocations des couches asphaltiques.**

Les couches asphaltiques sont assez fortement disloquées ; leur inclinaison atteint presque la verticale au-dessous de Servas, et le calcaire très-bitumineux est devenu cristallin : on dirait un véritable filon. Une semblable particularité a été signalée par M. Daubrée dans les roches de Lobsann, et disons en passant que ces deux gîtes, fort éloignés l'un de l'autre, présentent une analogie remarquable.

**Direction des couches. Failles.**

Dans la région qui nous occupe, les affleurements du bitume sont orientés : N. 25 à 27°, E. à S. 25 à 27° O. Ils se trouvent sur le revers occidental d'une série de

petites collines allongées suivant cette direction, qui est aussi celle du cours inférieur de l'*Auzonnet*, un des principaux affluents de la Cèse. Cette direction correspond d'une manière satisfaisante au système des *Alpes occidentales* de M. Élie de Beaumont, qui a mis fin à la période tertiaire moyenne.

On a retrouvé en plusieurs points d'attaque du gîte, une faille argileuse ou ligne de fracture parallèle aux crêtes des coteaux asphaltiques. Il serait intéressant d'exécuter un trou de sonde de l'autre côté de la faille pour aller rejoindre les calcaires, et vérifier si l'expansion du bitume ne s'est faite que d'un côté, ce qui est assez probable, l'argile ayant dû former un barrage naturel.

Ce sont principalement les calcaires d'eau douce qui sont bitumineux, à cause de leur perméabilité; cependant les calcaires marbres de la formation néocomienne le sont quelquefois : le rocher d'Auzon en est un exemple, et nous avons trouvé des mouches de bitume fréquentes dans les fragments de ces roches, cassés au voisinage des affleurements.

**Conglomérat de la base.**

Les calcaires asphaltiques reposent directement sur des argiles noires qui établissent le passage aux grès et aux poudingues de la base (2). Ceux-ci viennent butter contre les brèches marborescentes et crétacées, qui surgissent çà et là comme des îlots au milieu du bassin lacustre.

Cet ensemble de grès et de poudingues est à peu près stérile en bitume. On y remarque seulement en quelques points, près de Servas notamment, de petites fissures par lesquelles la poix minérale s'élève et surgit pendant les chaleurs pour s'épancher à la surface. Ce phénomène, assez rare à constater parce que le conglomérat est en général recouvert, peut jeter quelque lu-

mière sur le mode de production du bitume ; rappelons encore à ce sujet que :

1° Les couches asphaltiques sont disloquées, redressées, cristallines, là surtout où le bitume abonde ;

2° Elles appartiennent à la formation lacustre, mais certains calcaires néocomiens en sont également pénétrés dans leurs fissures, enduits ou tachetés ;

3° Enfin, le minerai est irrégulièrement disséminé, affectant l'allure des gîtes en chapelet, et se trouvant à des hauteurs barométriques diverses, mais suivant une zone ou bande fort étroite.

Hypothèse sur l'origine du bitume.

Tous ces faits nous paraissent exclure l'idée d'une formation neptunienne, de l'existence d'un cours d'eau asphaltique et superficiel, comme le suppose dans son mémoire M. d'Hombres Firmas. Nous pensons, au contraire, que le bitume, à la suite du soulèvement des coteaux asphaltiques, s'est fait jour par une série de dislocations et de fractures, alignées parallèlement à la crête de ces coteaux. Émanant par distillation des couches de combustible renfermées dans la formation crétacée, ou plutôt dans la formation houillère, si, comme il est assez probable, elle se prolonge jusque-là, le bitume s'est élevé au milieu des calcaires d'eau douce ; il s'y est fixé par imbibition, et n'a pénétré qu'accidentellement les roches néocomiennes, sous forme d'enduits ou de mouches isolées à cause de leur imperméabilité. La nature du conglomérat inférieur (gros galets de marbre et de quartz unis par un ciment argilo-calcaire) en explique aisément la stérilité. Il n'est pas impossible que la suite des recherches n'amène la découverte de quelque banc de grès perméable et bitumineux intercalé entre le conglomérat et les calcaires asphaltiques. C'est une chose très-désirable, à la condition pourtant que le calcaire n'y domine pas, car le

lavage en serait encore fort difficile dans ce cas. Nous n'avons, en effet, rien obtenu par l'ébullition dans l'eau d'un grès exclusivement calcaire dont il existe un banc assez riche au-dessus des couches bitumineuses, tandis que l'éther concentré et l'essence de térébenthine le dépouillent très-bien.

Disons maintenant quelques mots des sources minérales qui jaillissent au milieu de la région asphaltique, et dont l'étude présente un vif intérêt. Il existe deux groupes de ces sources, le premier au nord, près d'Auzon, au hameau des Fumades, le second au sud-est, près d'Hyeuset. Sources bitumineuses d'Alais.

Les eaux minérales des Fumades coulent dans le terrain marno-argileux noirâtre qui renferme les lignites, au-dessus des calcaires asphaltiques; elles sont bitumino-sulfureuses, et dégagent une forte proportion d'hydrogène sulfuré. 1.000 grammes d'eau de la source Roussel tiennent 0g,071 de soufre, correspondant à 56°,20 du sulfhydromètre Dupasquier (1). Les eaux, limpides à leur arrivée, deviennent louches et laiteuses par l'exposition à l'air. On remarque au fond des puisards où elles sont ramassées, une vase noire et épaisse de sulfure de fer, tandis que de petits filaments blanchâtres, mucilagineux, paraissant appartenir à de la glairine ou barégine, surnagent à la surface. Groupe des Fumades.

Les autres principes minéralisateurs sont des chlorures et des sulfures de calcium, de sodium, de magnésium et de fer, des sulfates et des carbonates des mêmes bases. Les éléments dominants de ces eaux sont l'acide sulfhydrique, les sels calcaires et le bitume; elles ne sont point thermales; leur température moyenne, qu'il est difficile de mesurer avec précision, à cause de la

---

(1) *Études sur les sources d'Auzon*, par M. le Dr Roch.

disposition des fontaines, se rapproche de 12° centigrades. Elles sont d'une grande efficacité contre la gale et la plupart des maladies cutanées, et demandent, à cause de leur extrême énergie, à être employées judicieusement.

Groupe d'Hyeuset.

Les sources d'Hyeuset sont connues et éprouvées depuis longtemps. De Gensanne a consigné, dans son *Histoire du Languedoc*, leurs propriétés balsamiques et leur application au traitement des affections pulmonaires. Les principes dominants sont ici le bitume, qui leur communique un goût de goudron prononcé, et les sels magnésiens, qui les rendent purgatives. L'acide sulfhydrique s'y manifeste faiblement. La température est aussi de 10 à 12°, et la présence du chlorure de sodium y a été pareillement révélée par les analyses.

Origine probable de ces sources.

Toutes ces sources sont belles, jaillissantes et traversent, avant d'arriver au jour, des couches situées à une grande profondeur, comme l'indiquent l'abondance et la variété de leurs principes minéraux. La présence de l'hydrogène sulfuré et des sulfures alcalins ou terreux peut s'expliquer de deux manières : ou bien le bitume a opéré une réduction sur les sulfates dissous dans l'eau, en produisant des sulfures qui, en présence de l'acide carbonique, ont donné lieu à un dégagement d'hydrogène sulfuré. On sait, en effet, qu'en calcinant du gypse bitumineux ou du gypse pur avec du bitume, on obtient artificiellement du sulfure de calcium et même, dans certaines circonstances, du soufre pur. Ou bien, les eaux se chargeant dans la profondeur de principes acides, ont, à l'aide d'une température et d'une pression suffisantes, dissous des sulfates, décomposé des sulfures, puis absorbé simplement le bitume en traversant les bancs qui en sont imprégnés;

l'action réductrice de ce dernier ne jouant plus qu'un rôle secondaire.

Avec la première hypothèse, il est difficile d'expliquer comment les eaux d'Hyeuset peuvent simultanément contenir une proportion de bitume, ou *matière réductrice*, et de sulfate de chaux, ou *matière non réduite*, plus considérable que celles des Fumades. Ce double fait ressort cependant des résultats d'analyses comparatives rapportées dans le mémoire de M. le docteur Roch. D'autre part, s'il nous est permis de supposer prolongée la direction des amas de pyrites affleurants dans les terrains secondaires du voisinage, nous remarquerons qu'elle s'éloigne beaucoup d'Hyeuset et qu'elle se rapproche des Fumades, ce qui confirmerait notre seconde hypothèse, l'absence de l'hydrogène sulfuré coïncidant avec l'éloignement des pyrites.

Quant aux autres principes minéralisateurs des sources précédentes, on explique facilement leur présence par celle des amas de gypse, des couches de calcaire et de dolomies si fréquents dans les terrains keupériens, secondaires et tertiaires du pays d'Alais.

---

# RAPPORT

## SUR UN FOUR A RÉCHAUFFER ALIMENTÉ PAR DEUX FEUX D'AFFINERIE, ÉTABLI PAR M. KARR AUX FORGES DE PONTENS (LANDES).

Par M. L. BESSET, garde-mines.

L'augmentation constante du prix de revient des fers affinés au charbon de bois, tient évidemment à la rareté de ce combustible; à l'exemple de beaucoup d'autres ingénieurs, M. E. Karr, s'était vivement préoccupé de la quantité considérable de charbon de bois que les feux d'affinerie consomment, bien que l'opération elle-même n'absorbe cependant qu'une faible proportion de la chaleur développée.

Après de nombreux essais, dont quelques-uns furent infructueux, d'autres imparfaits, M. E. Karr offrait en 1853 aux maîtres de forges un appareil, qui résolvait doublement, selon lui, le problème d'économie de combustible qu'il s'était proposé.

Il arrivait à la fois à diminuer la consommation du charbon de bois pendant l'affinage, et à employer la chaleur perdue par le foyer pendant l'opération, au réchauffage du fer destiné à être étiré au marteau ou passé aux laminoirs.

La disposition de son appareil est très-simple, sa construction facile et d'un prix peu élevé. Deux feux d'affinerie sont accouplés, et au milieu d'eux est placé un four de réchauffage qui reçoit, au moyen de deux galeries inclinées, toute la chaleur inutilement développée pendant l'affinage. Ces feux sont couverts et sont munis chacun de deux tuyères; un rampant con-

duit les gaz chauds du four de réchauffage à la cheminée (1).

Envoyé par M. Manès, ingénieur en chef des mines, sur la demande de M. Karr, j'ai suivi les expériences faites aux forges de Pontens (Landes) où l'on vient d'établir un de ces appareils.

Les essais ont été faits en nombre égal successivement dans les anciens feux d'affinerie et dans ceux de M. Karr, et l'on a dû chercher autant que possible à opérer dans les mêmes conditions, afin de pouvoir apprécier exactement les avantages de la nouvelle méthode.

En prenant la moyenne des vingt-six opérations faites dans les anciens feux de Pontens, voici les résultats obtenus. On chargeait pour chaque pièce de fer forgé :

| | |
|---|---|
| En fonte. . . . . . . . . | 85 kilog. |
| En ferraille. . . . . . . . | 5 |
| Soit en matières brutes. | 90 |

Le rendement a été :

| | kil. | | kil. | | kil. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| En pièce cinglée. . . | 76,00 | Soit | 844,4 | de fer p. | 1.000 | de fonte. |
| En massiaux soudés. | 65.30 | | 727,7 | — | 1.000 | — |
| En fer battu fini. . . | 62.50 | | 694,4 | — | 1.000 | — |

Ou en rapportant à 1.000 kilog., on consommait en fonte :

| | |
|---|---|
| Pour pièce de fer cinglée. . . . | 1.185 kilog. |
| Pour massiaux soudés. . . . . | 1.375 |
| Pour fer battu fini. . . . . . . | 1.438 |

La consommation en charbon de pin des Landes a été par opération de 5 1/2 rasses, une rasse contenant environ $1^{hect},10$, et le temps moyen pour le travail d'une pièce a été $3^{h}\,10'$.

---

(1) Les dessins de ces fours ont été publiés dans divers recueils industriels.

Les moyennes d'un même nombre d'essais faits dans les feux d'affinerie couverts du système de M. Karr, ont été celles-ci :

| | |
|---|---|
| En fonte. . . . . . . . . | 85 kilog. |
| En ferraille. . . . . . . . | 5 |
| Soit en matières brutes. | 90 |

Ont rendu :

| | kil. | kil. | | kil. | |
|---|---|---|---|---|---|
| En pièce cinglée.. . | 78.00 | Soit 866,6 | de fer p. | 1.000 | de fonte. |
| En massiaux soudés. | 65,50 | 727,7 | — | 1.000 | — |
| En fer battu fini. . . | 63,50 | 705,5 | — | 1.000 | — |

Ainsi, pour 1.000 kil. de fer obtenus, on chargeait :

| | | |
|---|---|---|
| Pour pièce cinglée. . . . . . . . | 1.153 kil. | de fonte. |
| Pour massiaux soudés. . . . . . | 1.375 | — |
| Pour fer battu fini. . . . . . . . | 1.414 | — |

On consommait en charbon de pin des Landes 4,70, et le temps moyen pour une opération était 2$^h$ 10'.

En comparant ces résultats, on remarque que le rendement est à peu près le même dans les anciens et les nouveaux foyers, mais qu'il y a pour le temps et la consommation de combustible, une économie notable en faveur de ces derniers, puisqu'elle est de 50 minutes par pièces, et de 1$^{st}$.40 de charbon par 1 000 kilogrammes de fer produit.

Je dois ajouter que la qualité du fer était la même dans les deux cas, et que le travail dans ces nouveaux foyers n'était pas plus pénible pour les ouvriers que celui dans les feux ordinaires.

— Je passe maintenant à l'examen du four à réchauffer, qui constitue le véritable perfectionnement introduit par M. E. Karr.

La température développée dans ce four, par le seul passage des gaz chauds venant des feux d'affinerie, est telle qu'on a pu parfaitement y réchauffer, tous les fers préalablement raffinés et ébauchés au marteau, depuis

les plus petites dimensions, jusqu'à des pièces pesant de 35 à 40 kilogrammes.

On y passait deux chaudes pendant le travail d'une pièce dans les feux d'affinerie; chaque chaude comportait 200 kilogrammes, soit 400 kilogrammes en deux heures, ou deux heures et demie.

Le fer était porté au blanc presque soudant et pouvait parfaitement être refendu ou étiré aux laminoirs en barres de tous échantillons. Il était du reste parfaitement bleu après le refroidissement, et n'avait rien perdu de sa qualité par ce mode de réchauffage, qui est bien préférable au réchauffage à la houille ou à la tourbe généralement employé dans les usines.

Le déchet moyen a été de 5 p. 100 pour les fers étirés ou fendus, mais il est à observer qu'il doit être ordinairement moindre, car les laminoirs de Pontens ayant un mouvement très-lent, l'étirage de chaque chaude nécessitait plus d'une demi-heure, et obligeait à laisser séjourner beaucoup trop longtemps dans le four au contact des gaz chauds, les fers déjà arrivés à une haute température.

En supposant, d'ailleurs, que le déchet dût atteindre 5 p. 100, il serait encore moindre que celui dans les fours à réchauffer à la houille, qui s'élève jusqu'à 10 p. 100.

Il résulte donc de ces essais, que le four à réchauffer de M. Karr atteint parfaitement son but, et qu'il offre par suite un avantage réel, puisqu'il réchauffe sans aucune dépense de combustible, une quantité de fer au moins égale à celle que l'on passait dans l'ancien four à réchauffer de Pontens; et que le fer y subit un déchet moindre, sans que sa qualité soit altérée.

Je dois ajouter en terminant, que ces résultats paraissent présenter une limite inférieure, des avantages

et de l'économie que l'appareil de M. Karr, doit apporter dans l'usine de Pontens. Ils ont été obtenus en effet dans les circonstances les plus défavorables pour la nouvelle méthode, et M. Karr a eu à lutter pendant toute la durée des essais, contre l'esprit de routine habituelle des ouvriers, car ce sont les mêmes mains qui ont opéré dans les anciens et les nouveaux appareils, c'est-à-dire pour et contre M. Karr.

De l'aveu même du propriétaire de l'usine, les moyennes obtenues pendant ces expériences, dans les anciens feux d'affinerie, dénotent une marche exceptionnelle, à laquelle les ouvriers ne voudraient sûrement pas s'astreindre.

Cette application sera sans doute accueillie avec faveur par les maîtres de forges, car outre l'économie qu'elle leur apporte, elle leur offre l'avantage de supprimer la houille qui leur revient généralement fort cher, et peut même faire défaut aux usines dont les approvisionnements dépendent de l'étranger.

---

*N. B.* — Par une lettre en date du 29 janvier 1854, adressée à M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, M. l'ingénieur en chef des mines Manès confirme les résultats énoncés dans ce rapport; il ajoute que le four à réchauffer de M. Karr vient d'être adopté aux forges d'Ichoux, et que son application paraît destinée à se répandre dans la contrée.

C.

---

# EXAMEN DE QUELQUES MINÉRAUX.

Par M. DELESSE, ingénieur des mines.

## *Terre verte.*

Le minerai de fer oligiste de Framont est souvent accompagné par une *terre verte* dont l'étude m'a paru présenter de l'intérêt.

Cette *terre verte* est traitée dans le haut fourneau comme minerai de fer. Elle se trouve dans les roches de pyroxène et de grenat qui accompagnent les minerais de Framont, et elle résulte sans doute de leur décomposition. Elle se trouve aussi avec ces minerais eux-mêmes et surtout avec le fer oligiste : aussi recouvre-t-elle généralement les cristaux qui tapissent les géodes de fer oligiste.

Elle a visiblement rempli des cavités et elle est de formation postérieure ; il est même vraisemblable qu'elle se produit encore maintenant.

La *terre verte* de Framont présente à peu près les mêmes caractères physiques que la *terre verte* de Vérone que j'ai décrite antérieurement (*Annales des mines*, 4e série, t. XIV, p. 74). Toutefois sa couleur est beaucoup moins belle ; car elle tire sur le vert sale ou sur le vert grisâtre. Elle happe à la langue et elle a toutes les propriétés d'une argile.

Elle se décolore lorsqu'on la fait bouillir avec de l'acide chlorhydrique concentré et la silice se sépare à l'état grenu : la magnésie et les oxydes de fer se dissolvent complétement dans l'acide, tandis que l'alumine et les alcalis ne se dissolvent que partiellement : quand la *terre verte* n'a pas été porphyrisée très-fin et

quand l'ébullition avec l'acide n'est pas prolongée pendant un très-long temps, on obtient un résidu dont j'ai trouvé le poids à peu près constant et qui, dans trois expériences différentes, était égal à 46,58 — 46,95 — 47,83. J'ai constaté en dissolvant ce résidu dans l'acide fluorhydrique qu'il retenait encore la moitié des alcalis et à peu près le dixième de l'alumine. Il ne se dissout d'ailleurs pas intégralement dans la potasse bouillante; mais il donne lieu à un nouveau résidu égal au quart du poids de la *terre verte* sur lequel on a opéré.

Il résulte de ce qui précède que lorsqu'on attaque une *terre verte* par un acide, les bases qui résistent le mieux à l'acide sont précisément les bases les plus puissantes, c'est-à-dire les alcalis; tandis que la magnésie, les oxydes de fer et même l'alumine se dissolvent presque intégralement dans l'acide. M. G. Bischof avait déjà fait observer qu'il en est de même lorsqu'on attaque le mica du micaschiste par un acide; par conséquent la loi paraît être générale et lorsqu'on attaque un silicate par un acide, les alcalis résistent toujours mieux à l'action de l'acide que les autres bases.

C'est ce qui explique d'ailleurs pourquoi les minéraux formés de silicates complexes sont le plus souvent difficilement attaquables ou même complétement inattaquables, lorsqu'ils contiennent des alcalis.

La *terre verte* de Framont a été analysée par l'acide chlorhydrique et par l'acide fluorhydrique. Elle contient les deux oxydes de fer, et son protoxyde de fer a été dosé par le chlorure d'or.

La composition de ce minéral est la suivante :

| | |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 43,50 |
| Alumine. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 16,61 |
| Sesquioxyde de fer. . . . . . . . . . . . | 8,88 |
| Protoxyde de fer. . . . . . . . . . . . . | 11.83 |
| *A reporter*. . . . . | 80,82 |

| | |
|---|---|
| *Report*. . . . . . | 80,82 |
| Protoxyde de manganèse. . . . . . . | 0,80 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . . . . . | 6,66 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . . . . | traces. |
| Potasse. . . . . . . . . . . . . . . . . | 3,14 |
| Soude. . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,69 |
| Eau. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 7,15 |
| | 99,26 |

Si l'on compare la *terre verte* de Framont à la *terre verte* de Vérone qui lui ressemble beaucoup et qui s'est d'ailleurs formée de la même manière, on trouve qu'elle renferme les mêmes substances, mais dans des proportions notablement différentes.

En effet, dans la *terre verte* de Framont, la teneur en silice est beaucoup plus petite, tandis que la teneur en alumine est beaucoup plus grande; il est probable par conséquent que de l'alumine y remplace une certaine proportion de silice.

La teneur en alcalis est au contraire très-faible et à peu près moitié de celle de la *terre verte* de Vérone.

La *terre verte* de Framont se rapproche encore par sa composition, de la *terre verte*, qui a été analysée par M. Rammelsberg et qui s'est formée par pseudomorphose dans les cristaux d'augite du mélaphyre de la Fassa (1). La teneur en magnésie est toutefois plus considérable dans la *terre verte* de Framont.

Le gisement de la *terre verte*, son état argileux, sa formation par voie de pseudomorphose, expliquent d'ailleurs les variations de sa composition et la difficulté de la représenter par une formule chimique simple.

### *Fayalite.*

Pendant l'automne de 1852 j'ai fait avec M. le professeur Th. Andrews de Belfast plusieurs excursions

(1) Rammelsberg. *Handworterbuch*, 1re partie, p. 68.

géologiques dans les montagnes du Mourne (*Mourne Mountain*) au nord-est de l'Irlande. Dans l'une de ces excursions j'ai eu occasion de recueillir un minéral qui a déjà été décrit par Thomson (1) sous le nom de silicate de fer anhydre (*anhydrous silicate of iron*) et j'ai examiné de nouveau ce minéral.

Il forme des veines ou des filons irréguliers dans la pegmatite caverneuse qui constitue le massif du Sliève Donard.

Il a une couleur noirâtre ; mais sa poudre a une couleur brun foncée et elle tache fortement les doigts : ce caractère seul indique déjà qu'il contient une certaine proportion de manganèse.

Sa cassure est résineuse. Suivant deux directions, il présente cependant deux clivages qui sont inégaux et qui m'ont paru perpendiculaires entre eux. Comme le péridot présente aussi deux clivages perpendiculaires, et que ce minéral à la formule du péridot, ainsi qu'on va le voir plus loin, cette circonstance est importante à signaler. Je n'ai d'ailleurs pas observé des cristaux terminés, mais seulement des fragments cristallins et clivables.

Il a un pouvoir magnétique élevé et il adhère au barreau aimanté. Il devient facilement magnéti-polaire.

J'ai déterminé sa densité par deux expériences et j'ai obtenu pour moyenne 4,006 ; cette densité est notablement plus grande que celle donnée par Thomson, qui est seulement de 3,885.

Il contient un peu d'eau ; mais en quantité assez variable ; j'ai trouvé qu'il en renfermait depuis quelques millièmes jusqu'à 3,06 pour 100. Il est probable que

---

(1) Thomson. *Mineralogy*, *Geology*, etc , t. I, p. 461.

cette eau provient d'une décomposition du minéral et d'un commencement de pseudomorphose.

On reconnaît d'ailleurs à la loupe que les fissures qui se sont formées dans certains échantillons ont été remplies par de l'hématite brune.

A une bonne chaleur rouge, il fond en une scorie bulleuse qui est noir grisâtre et qui a l'éclat métallique : elle ressemble complétement aux scories riches des foyers d'affinerie et des fours à réverbère. Elle est plus magnétique que le minéral lui-même. Quand on laisse cette scorie se refroidir lentement, sa surface se couvre de cristaux ayant les formes du péridot artificiel qui se produit dans les scories provenant du travail du fer; ces formes sont connues depuis longtemps par les recherches de MM. Mitscherlich et Hausmann.

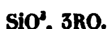
Le minéral du Mourne s'attaque très-facilement par l'acide, soit avant, soit après calcination; la silice gonfle et elle fait même un peu gelée.

Son analyse m'a donné des résultats qui concordent assez bien avec ceux de Thomson; cependant j'ai obtenu plus de manganèse et j'ai trouvé en outre un peu de magnésie. J'ai constaté d'ailleurs qu'il n'y avait pas d'alcali et je pense que la perte de mon analyse tient à l'oxydation d'une partie du protoxyde de fer, car j'ai opéré sur le minéral calciné jusqu'à fusion.

| | | Oxygène. | |
|---|---|---|---|
| Silice | 29,50 | » | 15,325 |
| Protoxyde de fer | 63,54 | 14,466 | |
| Protoxyde de manganèse | 5,07 | 1,136 | 15,718 |
| Magnésie | 0,30 | 0,116 | |
| Alumine | traces. | » | » |
| | 98,41 | | |

Le calcul des quantités d'oxygène montre que la quantité d'oxygène de la silice est égale à la somme

des quantités d'oxygène des bases, en sorte que le minéral a pour formule



$$SiO^3, 3RO.$$

Cette formule est celle du péridot ; par conséquent ce minéral des montagnes du Mourne est un péridot dont la base est presque exclusivement le protoxyde de fer ou un *péridot ferreux*.

MM. C. Gmelin et de Fellenberg ont déjà décrit sous le nom de *Fayalite*, un péridot qui a une composition très-voisine de la précédente et qui provient d'une roche volcanique de Fayal aux Açores : avec M. Hausmann, je conserverai donc le nom de *Fayalite* à ce minéral de la pegmatite du Mourne.

Il est assurément très-bizarre de trouver dans une pegmatite un minéral présentant la composition du péridot ; car le péridot est par excellence le minéral caractéristique des roches qui ont une origine ignée et qui sont pauvres en silice : or dans la pegmatite il est associé de la manière la plus intime avec de l'orthose et avec un grand excès de quartz.

Le péridot de la pegmatite fait d'ailleurs gelée avec les acides comme le péridot des laves ; il s'en distingue seulement en ce qu'il est en cristaux beaucoup plus gros et en ce qu'il est presque entièrement formé de protoxyde de fer.

Le péridot hyalin qui vient de l'Orient et qui est employé dans la bijouterie, paraît se trouver aussi dans des roches granitiques ; en effet, M. Dufrénoy (1) a observé un cristal très-net de péridot d'une très-belle couleur verte qui était dans un filon de pegmatite encaissé dans une roche granitique.

(1) Dufrénoy. *Minéralogie*, t. III, p. 553.

Du reste, la présence du péridot dans la pegmatite paraîtra moins anormale, si l'on observe que cette roche contient aussi du pyroxène et du grenat qui, de même que le péridot, sont des minéraux très-caractéristiques des roches pauvres en silice et ayant une origine ignée. Ainsi, par exemple, le pyroxène s'observe dans la pegmatite du lac Baïkal et dans celle de Sainte-Marie-aux-Mines. Quant au grenat, il est fréquent dans plusieurs roches granitiques et notamment dans le leptynite ainsi que dans la pegmatite.

### *Sphérolithe.*

M. Breithaupt et les minéralogistes allemands ont donné le nom de *sphérolithe* (*sphærülit*) à des globules qui se sont développés dans la pâte des roches vitreuses, telles que les rétinites, les perlites et les obsidiennes.

Le *rétinite perlé* de l'île de Sant'-Antiocco, près des côtes de la Sardaigne, renferme un grand nombre de globules très-nets de *sphérolithe*, et d'après le désir que m'a témoigné M. le général A. de la Marmora, je me suis occupé de leur analyse.

Les globules de *sphérolithe* de Sant-'Antiocco se sont développés dans une pâte vitreuse qui est grise, gris noirâtre ou noirâtre. Dans toute sa masse, cette pâte présente la structure globuleuse irrégulière qui est spéciale aux *rétinites* et aux *perlites*. Elle contient quelquefois de petites lamelles d'orthose blanc à éclat vitreux. Elle contient surtout des cristaux de mica brun tombac ou brun noirâtre; tous ces cristaux sont très-nets et complétement isolés de la pâte; ils sont généralement allongés dans le sens de la schistosité de la roche.

Quant aux globules de *sphérolithe*, ils ont une couleur grise plus claire que celle de la pâte qui les entoure. Par calcination, ils prennent au contraire une

couleur brune plus foncée que celle de la pâte qui devient brun jaunâtre; ils fondent d'ailleurs plus difficilement que cette pâte.

Ils sont opaques et lithoïdes, tandis que la pâte est translucide et vitreuse. Ils sont radiés et fibreux. Ils ont au plus 1 centimètre de diamètre. Ils se détachent facilement de la pâte, de laquelle ils sont séparés par une surface bien lisse et mamelonnée. Ils présentent à leur circonférence une petite zone siliceuse qui leur sert en quelque sorte d'enveloppe. Ils renferment souvent des cristaux indépendants d'orthose et de mica qui paraissent s'être développés indifféremment soit dans les globules, soit dans la pâte (1).

Il m'a paru intéressant de comparer la composition de la *sphérolithe* avec celle du *rétinite perlé* de Sant'-Antiocco. J'ai donc fait des analyses de la *sphérolithe* I et du *rétinite perlé* II provenant d'un même échantillon. Cet échantillon m'avait été remis par M. le général de la Marmora : il avait une couleur gris foncé et il contenait de petites lamelles d'orthose et de mica.

Autant que possible, j'ai eu soin de ne soumettre à l'analyse que des globules de *sphérolithe* dans lesquels il n'y avait pas de cristaux indépendants.

J'ai d'ailleurs déterminé la densité de la *sphérolithe* I, qui est de 2,459.

J'ai déterminé également la densité du *rétinite perlé* II, et je l'ai trouvé égale à 2,386.

La densité de la *sphérolithe* est donc plus grande que celle de la pâte vitreuse qui l'enveloppe.

J'ai constaté, de plus, que la densité dela *sphérolithe* calcinée est seulement de 2,350; par conséquent cette

---

(1) *Recherches sur les roches globuleuses*. Mémoires de la Société géologique, 2ᵉ série, tome IV.

densité diminue à peu près du vingtième par calcination.

Les résultats que j'ai obtenus sont donnés par le tableau suivant :

| | I. | II. | III. | IV. |
|---|---|---|---|---|
| | Sphérolithe. | Rétinite perlé. | Globules. | Verre. |
| Silice. . . . . . . . . . . . . | 72,20 | 70,59 | 68,2 | 64,7 |
| Alumine. . . . . . . . . . . | 15,65 | 15,49 | 4,9 | 3,5 |
| Protoxyde de fer. . . . . . . | 1,64 | 1,60 | | |
| Protoxyde de manganèse. | 0,50 | 0,30 | | |
| Magnésie. . . . . . . . . . . | 0,62 | 0,70 | | |
| Chaux. . . . . . . . . . . . | 0,98 | 1,31 | 12,0 | 12,0 |
| Potasse. . . . . . . . . . . | 1,71 | 4,29 | | |
| Soude. . . . . . . . . . . . . | 5,52 | 3,52 | 14,9 | 19,8 |
| Perte au feu. . . . . . . . | 1,12 | 3,70 | | |
| | 99,94 | 99,50 | 100,00 | 100,00 |

La teneur en silice est un peu plus grande dans la *sphérolithe* I que dans le *rétinite* II qui la renferme ; mais je pense que cela tient à la petite zone siliceuse qui se trouve à la circonférence des globules desquels elle ne saurait être détachée. On peut donc admettre que la silice s'est partagée également entre la *sphérolithe* et entre le *rétinite;* par suite les globules de *sphérolithe* se forment d'après la même loi que le feldspath dans les porphyres; car j'ai déjà démontré antérieurement que dans les porphyres sans quartz, la silice se partage également entre le feldspath et entre la pâte.

La teneur en alumine de la *sphérolithe* est un peu plus grande que celle du *rétinite*, mais sa teneur en alcalis est au contraire plus petite.

La *sphérolithe* renferme d'ailleurs plus de soude que de potasse, tandis que c'est l'inverse qui a lieu pour le *rétinite*.

Enfin la teneur en eau de la *sphérolithe* est beaucoup plus petite que celle du *rétinite*.

En résumé, la composition chimique de la *sphérolithe*

diffère peu de celle du *rétinite* dans lequel elle s'est développée; cependant la cristallisation de la *sphérolithe* a eu pour effet d'éliminer une partie de la potasse et de l'eau, de concentrer au contraire l'alumine et la soude.

Du reste la formation de la *sphérolithe* ne saurait être attribuée à la cristallisation de l'orthose : car les globules de *sphérolithe* contiennent dans leur intérieur des cristaux indépendants d'orthose, et il est visible que ces cristaux n'ont aucunement concouru à la formation du globule.

La *sphérolithe* ne paraît même pas avoir une composition chimique bien définie; cependant on peut remarquer que la soude est son alcali dominant, et si on admet qu'elle soit formée par la tendance d'un feldspath à cristalliser, l'albite est le feldspath duquel sa composition la rapprocherait le plus.

— On sait que le *verre* ordinaire contient souvent des *globules* blancs opaques et radiés dont la structure a beaucoup d'analogie avec celle des *sphérolithes;* or M. Dumas a démontré que ces *globules* du *verre* ont une composition qui diffère peu de celle du *verre* lui-même : c'est ce qu'on peut facilement constater en jetant les yeux sur les analyses de M. Dumas qui sont données sous les nos III et IV du tableau (p. 359).

On voit de plus que les différences de composition entre ces *globules* III et le *verre* IV sont les mêmes qu'entre la *sphérolithe* I et le *rétinite* II : en effet, dans les *globules* comme dans les *sphérolithes*, la teneur en alumine et en silice est plus grande que celle des *verres* enveloppants, et la teneur en alcalis est au contraire plus petite.

Les affinités chimiques qui ont produit les *globules* se sont donc exercées de la même manière dans le *verre* artificiel et dans le *rétinite* qu'on peut regarder comme un *verre* hydraté naturel.

# ÉTUDE GÉOLOGIQUE

## SUR LE BASSIN DE L'ADOUR.

Par M. CROUZET, ingénieur des ponts et chaussées,
et M. de FREYCINET, ingénieur des mines.

---

### PRÉLIMINAIRES.

Le terrain que nous nous proposons d'étudier a pour limites au nord la Garonne, à l'ouest l'Océan, au sud les Pyrénées, et à l'est les contre-forts pyrénéens du département du Gers, qui viennent en s'affaiblissant jusqu'aux rives de la Garonne.

Cette contrée, ainsi circonscrite, est une des plus intéressantes qui puisse être offerte aux investigations des géologues, et c'est cependant encore une des moins bien connues. Sans les recherches de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, lors de leur grand travail de la carte géologique de la France, et notamment sans les mémoires de M. Dufrénoy sur les terrains de craie et les terrains tertiaires du sud-ouest, insérés dans les *Annales des mines* en 1830 et 1834, la géologie de cette contrée serait sans doute encore entièrement à faire. Depuis les travaux de ces deux savants, peu de documents nouveaux ont été fournis à la science. Les études ultérieures n'ont guère fait que les reproduire, et, sauf la partie purement conchyliologique qui a été éclairée par les publications de M. Grateloup et de M. d'Archiac, on peut dire que la géologie proprement dite est restée à peu près stationnaire.

C'est pourquoi il nous a paru utile de publier les résultats de nos recherches sur la constitution géologique de cette contrée.

La pensée de ce travail avait d'abord été plus restreinte : il avait été entrepris au point de vue des phénomènes offerts par les mines de bitume de Bastennes et de Gaujacq. Mais bientôt nous avons reconnu que ces faits spéciaux se rattachaient à tout un ordre d'événements géologiques, dont le bassin de l'Adour avait été le théâtre; nous avons donc été amenés à étudier la géologie générale de la contrée. Dans cette étude, se présenteront comme conséquences particulières les bitumes précités, les sources salées de la Chalosse et les bancs de sel des Pyrénées, la pierre à plâtre, les mines de fer oligiste ou hydroxydé de la Chalosse et des Landes, les chaux et ciments hydrauliques, les grès à paver, etc.

Ce serait une mauvaise marche, dans cette étude, que de séparer les faits sédimentaires des faits éruptifs. Ils sont tellement dépendants les uns des autres, ou plutôt les premiers ont été tellement influencés par les seconds, dans le pays qui nous occupe, que les envisager à part serait agir précisément à l'inverse de la nature qui constamment les y a associés et comme enchevêtrés. Nous les présenterons donc de front, à mesure que l'inspection du terrain nous révélera leur intervention simultanée. Par là, nous comprendrons mieux les modifications diverses qui ont résulté de leur action réciproque.

Toutefois, il nous paraît utile, au préalable, de décrire minéralogiquement, d'une manière sommaire, les roches ignées du bassin que nous étudions, nous réservant d'en indiquer les gisements lorsque l'étude de la succession géologique nous amènera dans les diverses localités.

Le principal agent, on peut même dire le seul agent éruptif du bassin de l'Adour, est la roche ophitique,

nommée tantôt mélaphyre, tantôt porphyre dioritique, tantôt trapp secondaire, tantôt grünstein et définitivement appelée *ophite* depuis les travaux de Palasseu et de Charpentier dans les Pyrénées.

En assignant à l'ophite ce rôle exclusif dans les bouleversements du pays, nous ne prétendons pas dire que d'autres actions éruptives n'y aient aussi fait sentir leurs effets. Il est certain, au contraire, que plusieurs grands soulèvements de montagnes, notamment ceux de la chaîne des Pyrénées et de la chaîne des Alpes, ont profondément modifié la configuration du sol. Nous aurons maintes fois occasion de signaler dans la région de l'Adour le contre-coup de ces grandes révolutions géologiques. Mais nulle part leur action n'a été directe et immédiate : nulle part la matière ignée n'a surgi à la surface : nulle part enfin on n'observe de ces phénomènes locaux qui indiquent l'influence voisine de la roche éruptive. L'ophite, au contraire, a constamment tourmenté le terrain de la façon la plus variée et la plus manifeste. On le voit au jour dans une foule de localités, et, outre qu'il forme fréquemment une portion notable des éminences du pays, il a engendré les faits si intéressants des bitumes, des sources minérales et thermales, etc. C'est à son action enfin que doivent être attribués les nombreux changements apportés dans l'allure des couches sédimentaires, et qui font de ce bassin une des régions les plus difficiles à étudier, les effets ophitiques se discernant souvent assez mal des effets généraux de soulèvement.

L'ophite est une roche essentiellement composée de feldspath et d'amphibole. Sa couleur est d'un vert foncé, sa cassure est esquilleuse, compacte et quelquefois un peu grenue. Sa densité est souvent assez grande pour

que ses fragments constituent une bonne pierre à ferrer les routes.

Il contient un très-grand nombre de minéraux étrangers à sa composition normale. Les principaux sont le pyroxène, le talc, le fer oligiste, le fer oxydulé, le fer sulfuré, le cuivre pyriteux, l'épidote, le mica, l'asbeste, la stilbite, le quartz, etc. Les trois premiers, le pyroxène, le talc et le fer oligiste sont de beaucoup les plus abondants, et jouent fréquemment un grand rôle dans les effets que produit l'ophite sur le milieu environnant.

Outre ces matières, l'ophite paraît avoir toujours été accompagné, dans ses éruptions, du dégagement d'un grand nombre de substances gazeuses et métalliques dont les plus importantes sont du fer oligiste et des gaz sulfureux et magnésiens. Nous étudierons ultérieurement la manifestation de ces agents et les phénomènes métamorphiques qui en ont été la conséquence.

L'ophite, comme la plupart des roches à élément feldspathique, jouit à un haut degré de la propriété remarquable de se décomposer spontanément au contact de l'air atmosphérique. C'est un fait absolument identique à celui qui engendre le kaolin, dans la décomposition de certains granites. Il est même à remarquer que l'ophite comme le granite offre des variétés nombreuses au point de vue de la plus ou moins facile décomposition. Ainsi, il n'est pas rare de voir des masses d'ophite rester à peu près intactes, à côté de masses en apparence identiques, appartenant visiblement à la même éruption, et profondément altérées.

Ces différences tiennent à deux causes distinctes : la première est la texture mécanique de la roche ophitique et son exposition aux agents atmosphériques. Quelquefois, en effet, la masse est presque entièrement com-

pacte, tandis que plus souvent elle est divisée par des plans de rupture qui se croisent en divers sens, et qui proviennent sans nul doute de la contraction déterminée par le refroidissement de la matière ignée. C'est sur les points où ces plans de rupture sont le plus rapprochés que la décomposition a fait le plus de progrès. On comprend en effet que les agents atmosphériques et surtout les eaux d'infiltration agissent alors sur de plus grandes surfaces et dans un rapport plus intime avec la roche. Dès lors, l'espèce de cémentation qui en résulte est plus active et la décomposition plus rapide. Ce mode de décomposition a pour effet de convertir les fragments prismatiques provenant des plans de rupture en fragments sphériques ou ellipsoïdaux inscrits dans les prismes primitifs; car les angles et les arêtes saillantes étant plus accessibles à cette altération par cémentation doivent incessamment s'user et se détruire et ramener de plus en plus à des formes arrondies les fragments restés intacts. Aussi la décomposition de l'ophite en *boulets* est-elle fort connue des terrassiers et des laboureurs du pays. Nous ajouterons un fait qui met hors de doute l'altération de l'ophite par les causes atmosphériques, c'est que sur tous les points où cette roche affleure naturellement, elle est toujours désagrégée à la surface, et que partout où des déblais ou des exploitations de carrières l'ont mise à nu, elle ne tarde pas à se couvrir d'une couche terreuse provenant de sa décomposition superficielle, dès que ces déblais ou ces carrières sont abandonnés pendant quelques années à l'action des pluies et des autres agents atmosphériques.

La seconde cause est la composition chimique. Le fer sulfuré prédomine dans les parties où l'on remarque l'altération la plus complète. On observe en effet, dans la matière décomposée, des traces d'ocres de fer beau-

coup plus considérables que celles qui apparaissent dans la roche la plus résistante. En sorte que le phénomène de la décomposition des ophites serait un phénomène complexe, résultant à la fois de celui qui engendre le kaolin dans les granites, et de celui qui désagrége les schistes pyriteux.

L'altération de l'ophite est quelquefois tellement profonde, que l'aspect primitif de la roche est tout à fait changé. On dirait une couche terreuse plus ou moins imprégnée d'ocre jaune ou brunâtre, dans laquelle, au premier abord, on serait peu tenté de reconnaître une ancienne pierre dure et volcanique. Mais un examen plus attentif ne tarde pas à montrer la première manière d'être de la substance : car au milieu de la masse terreuse on retrouve quelques fragments sur le point de se désagréger, mais conservant encore la physionomie de la roche elle-même. Toutes les fois donc que l'observateur se trouve en présence de ces dépôts, en apparence diluviens, il ne doit pas se hâter de les assimiler à d'autres formations voisines, souvent assez analogues d'aspect. On courrait ainsi le risque de méconnaître la présence d'un agent éruptif, là où sans doute il a dû exercer une notable influence sur le relief du terrain. C'est pour avoir négligé cette observation attentive que plusieurs géologues ont souvent ignoré le rôle de l'ophite dans certains accidents géologiques, et que, par suite, les faits n'ont pu trouver leur explication naturelle. Aussi avons-nous cru devoir insister sur ces particularités, parce que ce n'est qu'en étudiant à fond les manifestations de l'ophite, qu'on peut se faire une idée exacte de la géologie de cette contrée.

Plus tard nous reviendrons sur cette question, lorsque nous nous occuperons de déterminer l'époque de l'apparition des ophites.

Si maintenant nous portons nos regards sur l'ensemble des terrains sédimentaires, la formation la plus ancienne du bassin nous paraît être la formation crétacée.

Les limites du pays que nous nous proposons d'étudier s'arrêtant à la chaîne proprement dite des Pyrénées, nous n'avons pas à nous occuper des terrains plus anciens qui forment les flancs de ces montagnes. Ainsi nous laissons de côté les schistes et le calcaire de transition, le grès rouge et le grès bigarré, le lias et le calcaire jurassique, dont les couches ne se manifestent que dans la chaîne pyrénéenne elle-même.

Plusieurs géologues ont pensé que quelques lambeaux de la formation du trias apparaissaient dans la partie nord-ouest du département des Basses-Pyrénées, de Bayonne à Cambo, à Briscous, à Oraas, à Bidache, à Mauléon, etc., et même dans le département des Landes, en Chalosse, à Bastennes, à Pouillon, à Montsouer, etc. Ils ont cru voir dans certaines argiles schisteuses et bariolées, ou même dans certains calcaires fortement feuilletés, les traces incontestables des marnes irisées du trias. A mesure que nous parcourrons ces diverses localités, nous déduirons les motifs qui nous ont décidés à rejeter complétement cet aperçu, et à nous conformer en cela à l'opinion de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, qui dans leur carte géologique de la France n'hésitent pas à placer ces couches dans des terrains beaucoup plus modernes. Malgré l'autorité de ces deux savants, quelques géologues continuent encore à assimiler ces schistes aux marnes irisées, en admettant la suppression de toute la formation jurassique, tandis que dans les Hautes-Pyrénées, l'Ariége, etc., et sur le versant espagnol ces prétendues marnes se montrent nettement superposées au calcaire du Jura, appuyé lui-même sur les terrains plus anciens.

Ayant ainsi déterminé le point de départ des faits que nous avons à étudier, nous diviserons notre exposition en quatre parties principales, savoir :

Première partie. — *Formations crétacées.*
Deuxième partie. — *Terrains nummulitiques.*
Troisième partie. — *Formations tertiaires.*
Quatrième partie. — *Période moderne.*

---

## PREMIÈRE PARTIE.

### FORMATIONS CRÉTACÉES.

Ces formations se montrent en un très-grand nombre de points de la contrée.

Leurs affleurements, très-puissants dans le voisinage des Pyrénées, diminuent de fréquence à mesure qu'on s'éloigne vers le nord, et cessent tout à fait au delà de la ligne E. O. qui passe à Saint-Sever : ils ne reparaissent ensuite que dans la Saintonge.

Toute la région au nord de cette ligne est formée de terrains plus modernes : la région sud, au contraire, montre de nombreuses crêtes de la formation crétacée, saillant à travers les couches qui se sont ultérieurement déposées.

La stratification a été profondément modifiée par deux actions principales : l'une est le soulèvement des Pyrénées, qui a fait sentir d'une manière générale son influence sur toute l'étendue du bassin ; l'autre est l'éruption ophitique, qui a amené une foule d'accidents locaux et souvent a rendu méconnaissables les directions imprimées par la grande cause pyrénéenne.

La formation crétacée du sud-ouest de la France n'a

pas le même aspect que celle du bassin de Paris. A proprement parler, la craie du bassin parisien, connue sous le nom de craie de Meudon, et dont personne n'ignore les caractères physiques, n'existe pas dans le bassin pyrénéen. Elle y est représentée par un calcaire beaucoup moins friable, qui tantôt est très-compacte, tantôt plus ou moins marneux.

Les bancs marneux peuvent affecter des colorations très-variées. On y trouve des assises jaunes, bleues, roses, grises, contenant parfois une proportion de marne si considérable que cette craie mériterait plus justement le nom de marne calcaire que celui de calcaire marneux que lui ont laissé les géologues à cause de sa position dans l'ensemble de la formation crétacée. Certaines couches marneuses cessent même d'être calcaires pour devenir absolument argileuses. Il est assez difficile d'établir dans cet étage de la formation crétacée une démarcation bien tranchée entre les couches dures et les couches marneuses. Au contraire, elles présentent souvent des alternances imprévues : ainsi, au milieu des assises les plus argileuses, il n'est pas rare de rencontrer quelque lit de calcaire très-dur, et réciproquement parmi les assises les plus compactes, on trouve des bancs où l'argile est mêlée en assez forte proportion dans le calcaire.

Toutefois, en envisageant les choses dans leur ensemble, on trouve que les couches compactes forment un groupe assez bien défini qui occupe la partie supérieure de la formation crétacée. Ce groupe présente en outre une grande abondance de silex distribués irrégulièrement dans les diverses couches, et paraissant souvent avoir remplacé des corps organiques fossiles dont les contours sont restés plus ou moins discernables. Le caractère résultant de la présence de ces silex se joint

à celui que nous tirerons bientôt de l'examen des fossiles pour faire assimiler l'ensemble de ces couches à la craie silicifère de Meudon, malgré la différence des caractères minéralogiques, différence suffisamment justifiée d'ailleurs par l'éloignement géographique et l'indépendance des bassins parisien et pyrénéen à l'époque du dépôt des terrains crétacés.

Les couches marneuses prises aussi dans leur ensemble forment un deuxième groupe bien circonscrit, immédiatement inférieur au précédent, et qui en diffère non-seulement par sa moindre dureté générale, mais aussi par l'absence complète de silex si fréquents dans le premier. Ce sera le représentant de la craie sans silex de Meudon. Les fossiles y sont très-rares, et nous n'avons pu y découvrir que des débris de piquants d'oursins et de cidaris dans les lits de stratification des carrières de Puyo et de Bellocq, dans les Basses-Pyrénées; mais la position géologique assignée à ce deuxième groupe n'est pas contestable : 1° parce qu'il est au-dessous d'un groupe tout à fait assimilable au terrain de la craie silicifère; 2° parce qu'il est au-dessus d'un autre groupe que nous allons être conduits à assimiler au grès vert.

Les couches formant ce dernier groupe de la formation crétacée pyrénéenne ont un facies bien remarquable. C'est une succession puissante de lits d'épaisseur variable de calcaire en général fort dur, et passant souvent à l'état de grès, par suite de la forte proportion de parcelles siliceuses qui sont disséminées dans la masse. Ces lits sont séparés par de minces strates de marnes, qui ont de 1 à 10 centimètres d'épaisseur. Quelquefois toutes les assises, de calcaire comme de marne, s'amincissent tellement que la formation devient feuilletée et emprunte complétement la physiono-

mie habituelle des schistes. Cette dernière circonstance a jeté pendant longtemps une grande incertitude sur la vraie position géologique de ces terrains. Avant les travaux de M. Dufrénoy, on n'avait pas osé les ranger dans la formation du grès vert ; même depuis cette époque, plusieurs géologues ont encore conservé des doutes qui ne nous semblent pas fondés. En effet, la schistosité que nous venons de signaler n'est jamais générale ; c'est-à-dire que si l'on parcourt toutes les couches sur leur tranche dans un sens perpendiculaire à leur direction, on ne tarde pas à retrouver en deçà et au delà des bancs schisteux, des assises identiques entre elles et qui n'ont nullement l'aspect feuilleté. Ce sont alors des bancs de calcaires, quelquefois de grès calcaires, de 10 à 80 centimètres d'épaisseur, entre lesquels les strates de marnes deviennent insignifiants. Ces bancs sont tantôt très-riches en silex, tantôt en sont dépourvus. On ne voit aucune raison de ne pas les assimiler au grès vert ; et comme les portions schisteuses se lient à celles-là par degrés insensibles, comme d'ailleurs la stratification n'est nullement altérée dans le passage, qu'en un mot rien n'indique un changement de formation géologique ou un bouleversement ultérieur, il faut bien comprendre toutes ces couches dans un seul et même étage, placé au-dessous de l'étage représentatif de la craie de Meudon.

Nous n'y avons pas trouvé de fossiles, mais on y voit de nombreuses empreintes végétales très-bien conservées, particulièrement aux surfaces de jonction des lits calcaires et des lits de marnes. Ces empreintes se rapportent à la flore du grès vert.

M. Dufrénoy a présenté une dernière considération qui établit l'assimilation victorieusement. Il a reconnu l'identité minéralogique parfaite de ces couches avec

celles des grès de Rochefort, lesquelles sont immédiatement superposées aux couches les plus modernes du calcaire jurassique : les empreintes végétales y sont aussi les mêmes.

L'étage des sables ferrugineux qui, comme on sait, fórme la partie inférieure des terrains crétacés, ne paraît pas avoir de représentant dans la craie pyrénéenne. Pourtant il serait possible que certaines couches sableuses et marneuses, qui s'appuient sur les schistes anciens, à Espelette et à Itxassou, par exemple, correspondissent à cette partie de la formation.

Quoi qu'il en soit, et en laissant de côté ce dernier étage mal caractérisé, on voit que le terrain crétacé du bassin dont nous nous occupons peut être divisé en trois groupes, savoir, en partant du plus ancien :

1° Calcaire très-dur passant au grès, à silex, présentant parfois l'aspect schistoïde.

Le meilleur type est à Bidache; nous nommerons cet étage grès vert au calcaire de Bidache.

2° Calcaire généralement marneux avec marnes argileuses plus ou moins colorées et sans silex.

Le meilleur type apparaît de Bayonne à Briscous, 5 ou 6 kilomètres avant cette dernière localité, jusqu'à 2 ou 3 kilomètres au delà en allant vers Bidache. Nous pourrions nommer cet étage craie sans silex; mais des motifs que nous développerons lors de la description particulière de cet étage, nous ont conduits à substituer le nom de craie gypso-salifère. Désormais donc nous l'appellerons étage gypso-salifère ou craie de Briscous.

3° Calcaire généralement compacte à silex correspondant à l'étage de la craie silicifère de Meudon.

Le meilleur type se voit dans les carrières des envi-

rons de Tercis, le long de l'Adour, aussi nommerons-nous cet étage craie silicifère ou calcaire de Tercis.

Nous allons étudier successivement ces trois étages.

### *Premier étage des terrains crétacés.*

#### Grès vert ou calcaire de Bidache.

Cet étage occupe une superficie considérable dans le département des Basses-Pyrénées : il forme au pied de la chaîne une large bande redressée dont les directions variables se rapprochent sensiblement en moyenne de la direction E.-O.

Les lits des rivières, telles que la Nive, la Bidouze, les gaves de Mauléon, d'Oleron, de Pau, etc., ont déterminé dans ces couches des vallées étroites et profondes, souvent normales à leur direction, qui permettent d'observer la succession sur une très-grande échelle.

Un grand nombre de carrières exploitent cette pierre, soit pour les constructions, soit pour l'entretien des voies de communication, soit pour le pavage des rues. Les extractions groupées autour de Bidache ont une grande importance industrielle.

Les silex sont distribués dans les couches d'une manière tout autre que celle que nous aurons bientôt à constater dans la craie silicifère supérieure. Au lieu de présenter des fragments juxtaposés à arêtes plus ou moins tranchantes et semblant parfois remplacer la substance de fossiles isolés dans la masse calcaire, ils forment le plus souvent de véritables lits d'une couleur variable, d'une épaisseur de 1 à 13 centimètres continus sur une grande longueur et parallèles au plan général de la stratification. Les bancs à silex alternent avec d'autres bancs semblables par leur aspect et leurs propriétés, mais ne renfermant pas de silex.

Des trois étages de la craie, c'est celui qui dans son ensemble a été le moins bouleversé par les éruptions ophitiques et qui a le mieux conservé la direction imprimée par le soulèvement pyrénéen. On verra plus tard pourquoi cette direction est plus près de la ligne E.-O. que de celle des Pyrénées elles-mêmes.

La succession des étages de la craie est très-observable, quand on suit la côte de la mer, de Biarits à Saint-Jean-de-Luz. Un peu au sud de Biarits, on trouve des couches de calcaire compacte à silex ou sans silex semblables à celles de Tercis et renfermant plusieurs fossiles identiques. Puis viennent des couches plus ou moins marneuses présentant tous les degrés de compacité et de coloration de celle de Briscous et passant, par nuances insensibles, à des marnes colorées tout à fait argileuses, suivies de calcaires marneux également colorés. C'est dans l'alignement des bancs marneux gris que sont ouvertes les carrières qui exploitent le ciment de Guétary. Plus loin enfin les couches deviennent plus dures et plus minces : elles renferment des silex à lits continus, comme à Bidache, et les mêmes empreintes végétales. Certaines portions deviennent de véritables schistes. Dans toute cette succession, le parallélisme des couches n'est jamais altéré ; elles se recouvrent les unes les autres, en affectant des inclinaisons croissantes à mesure qu'on se rapproche de la chaîne des Pyrénées. Cette coupe naturelle se rattache d'ailleurs à la constitution générale de la contrée. Ainsi c'est dans la direction des couches dures que sont situés les calcaires compactes des environs de Bayonne, d'Urcuit, etc., dans l'alignement des couches marneuses colorées que sont les formations de Villefranque, de Briscous, de Caresse, etc. ; dans l'alignement enfin des couches schisteuses et à silex de Saint-Jean-de-Luz que

se trouvent les grès verts de Saint-Palais, Mauléon, Oleron, etc. Ces orientations générales sont d'ailleurs plus ou moins altérées non-seulement par les éruptions locales, mais encore par la manière même dont le grand soulèvement pyrénéen s'est produit. La formation crétacée n'a pas été en effet soulevée tout d'une pièce et d'une manière en quelque sorte solidaire; mais les fractures transversales qui se sont produites dans les couches ont eu pour résultat de redresser davantage certains lambeaux qui ont formé dans les mers postérieures des rivages plus avancés vers le nord. Notre intention est seulement de faire sentir dans la distribution des terrains crétacés du bassin de l'Adour, la trace d'une cause générale que les phénomènes subséquents n'ont pu complétement dissimuler.

Nous n'aurons que peu de mots à ajouter pour compléter l'exposé des caractères des roches composant cet étage. Ils offrent en effet une régularité et une constance telles qu'on peut en donner une idée suffisamment précise sans s'étendre longuement.

La composition minéralogique de la pierre passe du calcaire presque pur au grès calcaire. Les bancs les moins chargés d'éléments siliceux sont de couleur blanche ou gris jaunâtre : ils se taillent facilement et peuvent porter des moulures fines; comme ils ont d'ailleurs une épaisseur qui va jusqu'à 60 centimètres, ils sont précieux pour fournir des pierres d'appareil pour les constructions importantes. Quoique ce calcaire soit le plus pur de la formation, il est encore trop mêlé d'éléments siliceux et argileux pour pouvoir être converti en chaux par la cuisson.

Les assises formées de calcaire moins pur sont de deux sortes. Les unes sont plus ou moins marneuses, colorées en bleu ou en gris foncé d'autant plus forte-

ment que l'élément argileux y prédomine. La pierre qu'on extrait de ces bancs est très-gelive et impropre aux constructions. La seconde variété est caractérisée par la présence du sable en grains répandu dans la masse : cette variété passe souvent au grès calcaire.

Dans les diverses assises, il est un certain nombre de caractères généraux dignes d'être notés. Les surfaces des bancs sont toujours couvertes de feuillets schisteux portant les empreintes végétales dont nous avons déjà parlé et pétris de petits graviers fort durs dont la grosseur variable atteint quelquefois celle d'une noisette; on voit même souvent des parties compactes appartenant à la masse intérieure des bancs pétries de ces petits graviers. On peut remarquer aussi que certains de ces feuillets schisteux sont imprégnés de matière charbonneuse, et que d'autres sont enduits d'une légère couche verdâtre onctueuse au toucher.

Les bancs ont généralement dans leur masse des fils ou joints parallèles à la stratification et selon lesquels ils se délitent, circonstance très-fâcheuse pour l'emploi de cette pierre dans les constructions. Il existe aussi dans la masse des bancs d'autres fils très-différents généralement blancs et souvent spathiques; ces fils se croisent dans tous les sens et ne paraissent affecter aucune direction déterminée : nous les regardons comme correspondant aux brisures qui ont été déterminées dans la roche lors de sa dislocation par le soulèvement pyrénéen. Au reste ces joints transversaux de rupture ont été tellement bien cimentés par l'introduction des dissolutions spathiques que les pierres se rompent très-rarement selon ces joints et qu'on peut en faire complétement abstraction lorsqu'on s'occupe des conditions de solidité à requérir dans les blocs de pierre de taille.

Nous avons dit qu'un grand nombre des assises de cet étage contenaient des lits de silex. La couleur de ces silex passe du blanc jaunâtre au bleu foncé et au noir; la pierre à feu ne se trouve jamais exactement sur les faces des strates; elle en est toujours séparée par une couche calcaire qui quelquefois se réduit, il est vrai, à une faible épaisseur; mais le plus souvent les lits de silex sont dans l'épaisseur des bancs. Nous avons dit que la pierre de Bidache a de nombreux fils et peut se diviser en minces feuillets parallèlement à la stratification : il est à remarquer que cette division n'a jamais lieu au contact des couches de silex et rarement dans l'épaisseur de ces couches; on doit considérer ces silex comme ayant une adhérence à la pierre calcaire et une cohésion propre plus forte que la cohésion des strates élémentaires de la pierre calcaire elle-même.

Disons enfin que cette formation passe complétement au grès en un grand nombre de points, notamment à Narp et Arranjuzan, dans la vallée du gave d'Oleron, et à Guiche, sur la rive gauche de l'Adour.

La formation du grès vert dont nous venons de décrire les principaux caractères manifestés dans la région subpyrénéenne, est limitée au sud par le pied même de la chaîne des Pyrénées. Elle s'appuie sur le grès bigarré près de la montagne de la Bayonnette, à 4 ou 5 kilomètres d'Urugne, ainsi qu'à Saint-Jean-Pied-de-Port, à Bagnères-de-Bigorre, etc. ; sur le calcaire de transition, dans les environs d'Espelette et d'Itxassou, à la forge de Larrau, à Laruns, à Argelez, etc. ; sur les roches granitiques, à Louhossoa, près Cambo, où l'on trouve les carrières de kaolin, dans les environs de Bagnères, etc. Le terrain jurassique n'est pas visible dans la région qui nous occupe. Toutefois nous croyons

devoir rapporter au lias trois ou quatre affleurements calcaires assez puissants que nous avons observés sous les couches du grès vert. Ainsi, à Cambo, les sources sulfureuses sortent d'un calcaire noir qui a l'aspect et l'odeur bitumineuse de celui du lias. Sur le chemin d'Itxassou à Espelette, on rencontre deux carrières près d'un petit pont : dans l'une on exploite le même calcaire bitumineux; dans l'autre, c'est un calcaire pétri de ces petits disques brillants si caractéristiques que l'on nomme entroques. Nous pensons donc que c'est le calcaire à entroques ou à encrines du lias. A Busy, près d'Oleron, on voit également un calcaire bitumineux semblable à celui de Cambo, et d'où sortent les eaux sulfureuses des bains d'Ogeu, supporter les couches du grès vert, etc.

L'horizon du grès vert est d'ailleurs complétement indiqué dans la belle carte de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.

Ces limites géologiques déterminent en même temps les limites géographiques méridionales du bassin que nous examinons.

### *Deuxième étage des terrains crétacés.*

#### Craie de Briscous ou étage gypso-salifère.

Nous nous proposons de donner sur cet étage de nombreux détails, parce que l'introduction en géologie d'un étage gypso-salifère de la craie est un fait entièrement nouveau, et que nos idées sur ce point sont en désaccord avec celles d'illustres géologues. Il est donc nécessaire que nous les appuyions d'observations assez multipliées pour qu'on ne puisse pas contester nos déductions.

Le bassin de l'Adour possède en plusieurs points des

gîtes de pierre à plâtre, des mines de sel et des sources salées, qui sont le plus souvent dans une connexion étroite et qu'on trouve habituellement dans le voisinage des ophites.

C'est une question intéressante et fort délicate de savoir quelle origine on doit attribuer à ces diverses substances.

Jusqu'ici l'opinion des savants a été partagée. Les uns ont été portés à envisager le sel et le gypse comme postérieurs à la formation calcaire, et engendrés d'une manière en quelque sorte éruptive, par la roche ophitique. D'autres ont pensé que l'ophite avait intercalé au sein de la craie quelques lambeaux arrachés à la formation triasique.

Dans ces dernières années, de nouvelles recherches industrielles ayant eu lieu dans le département des Basses-Pyrénées, principal centre de ces gîtes remarquables, nous avons pu recueillir un certain nombre de faits qui nous ont amenés à cette conviction, qu'il existait dans le terrain crétacé une formation régulière de sel gemme et de gypse, analogue à la formation gypso-salifère du trias, et que cette formation se trouvait comprise dans l'étage de la craie marneuse, assez près du calcaire schisteux et compacte qui représente le grès vert.

Si ce point de vue est exact, l'observation doit nous révéler tout d'abord :

1° Que, sauf les accidents locaux qui ont pu modifier, à une faible distance, l'aspect et l'allure des couches, les gîtes salins doivent toujours apparaître dans la même région de la formation crétacée ;

2° Que ces divers gîtes doivent, par conséquent, être orientés comme l'ensemble de la formation crétacée elle-même, c'est-à-dire doivent être situés le long d'une

ligne ayant à peu près la direction du soulèvement pyrénéen.

Or c'est là, en effet, ce que vérifie l'expérience. Les gîtes salins, pour ne nous occuper en ce moment que des Basses-Pyrénées, sont ceux de Villefranque, près Bayonne, de Briscous, d'Urcuit, de Salies, d'Oraas et d'Orthez. Dans ces diverses localités, on exploite, ou du moins on a constaté des sources salées considérables.

Une ligne passant par Villefranque, Briscous et Oraas a sensiblement la direction E.-O. Si l'on examine la direction même des couches redressées de la formation crétacée, on trouve que ces couches offrent en divers points des directions variables depuis O. 20° N. jusqu'à O. 20° S., et ont en moyenne et dans leur ensemble la direction E.-O. Cette direction n'est pas celle de la chaîne des Pyrénées qui, comme on sait, sont dirigées O. 18° N., E. 18° S., et qui ont soulevé toute la formation crétacée à l'époque où elles ont surgi. Mais ce n'est pas là un fait nouveau. Depuis longtemps on a constaté que les couches de craie du sud de la France n'étaient pas exactement parallèles aux Pyrénées, et se rapprochaient, au contraire, bien davantage de la ligne E.-O. Ce qui doit être ; car le soulèvement pyrénéen ayant été suivi de plusieurs autres soulèvements considérables, notamment de ceux de la chaîne occidentale et de la chaîne principale des Alpes qui forment respectivement avec la chaîne des Pyrénées des angles de 82° et de 34°, la direction définitive des couches doit être intermédiaire entre ces diverses directions, et par suite se rapprocher plus ou moins de la ligne E.-O.

Les gîtes de Villefranque, Briscous et Oraas sont donc orientés à peu près comme la formation crétacée elle-même. Il est présumable que leur disposition géographique correspond précisément à la direction du

banc de sel compris dans la formation. D'ailleurs, ces trois gîtes occupent des situations analogues au point de vue géologique. Ainsi, le sel de Villefranque et de Briscous est placé entre une série de couches de calcaire schisteux au sud, et une série de couches de calcaire marneux au nord. En effet, quand on se dirige de Bayonne vers un de ces deux points, on traverse une succession considérable de ce terrain. On rencontre des couches blanches, bleues, jaunes, roses, qui offrent toutes les gradations de couleur et de marnosité, depuis un calcaire à peu près pur jusqu'à une marne très-peu calcaire. Les alternances n'ont d'ailleurs rien de déterminé. On peut dire seulement qu'au voisinage du sel les nuances de couleur deviennent plus tranchées, et l'élément argileux prédomine. A Oraas, la nature de la craie est moins distincte; mais si elle n'apparaît pas au voisinage immédiat du sel, on la retrouve très-bien caractérisée avec les mêmes aspects, à une faible distance, quand on suit la route de Carresse.

Quant aux trois autres gîtes, Urcuit, Salies et Orthez, laissés en dehors de la ligne précitée, ils ne s'en écartent que très-peu; ils se trouvent dans la même zone géologique, c'est-à-dire dans la formation marneuse, surtout Urcuit. Quoi qu'il en soit, on peut très-bien admettre que les sources salées de ces trois points se rattachent à la formation générale du sel gemme; en sorte que leurs légers écarts en dehors de la ligne générale ne prouvent absolument rien contre notre hypothèse. D'ailleurs, les dislocations locales suffiraient aussi pour en rendre compte. Nous avons dit en commençant que le sel et le gypse se trouvaient habituellement dans le voisinage des ophites. Nous expliquerons bientôt pourquoi il en doit être ainsi et pourquoi, en outre, l'orientation générale des gîtes de

ces substances n'a pas été modifiée par ces soulèvements locaux.

Ainsi nous voyons, en considérant les faits dans leur ensemble, que les gîtes salins des Basses-Pyrénées se rattachent à un même étage géologique de la formation crétacée.

Il nous reste maintenant à montrer comment les détails particuliers à chaque localité rentrent dans ce premier aperçu.

Autrefois on ne connaissait le sel dans cette région que par la présence de sources salées plus ou moins saturées; en sorte que le champ était libre pour toutes les hypothèses. Rien n'étant révélé sur la position et sur l'allure des masses de sel, on pouvait les envisager soit comme des fragments détachés du trias inférieur, soit comme le produit igné de l'éruption ophique. Il est remarquable, en effet, que la présence des sources ou même du sel à l'état solide soit invariablement liée à des gîtes d'ophite plus ou moins voisins. L'effet de cette roche sur tout le terrain est incontestable. Les couches sont tourmentées et relevées dans tous les sens. Chaque éminence ophitique semble avoir été un centre autour duquel le terrain a été disloqué et redressé. Nous ne prétendons nullement contester ce fait, que l'ophite accompagne partout le sel ou les sources salées : nous reconnaissons même que, sans les éruptions ophitiques, le sel n'aurait peut-être pas été manifesté; mais si elles l'ont mis à jour, elles ne l'ont pas engendré.

La mine de sel gemme de Villefranque est un des meilleurs sujets d'étude qu'on puisse trouver en cette matière.

Outre nos propres observations, nous avons encore tous les renseignements que M. Geindre, directeur des travaux et géologue distingué, s'est empressé de nous

fournir. Sans partager son opinion sur l'origine même du banc de sel, nous avons été puissamment guidés par ses précieuses indications.

On a rencontré le sel à 26 mètres au-dessous du sol. Un puits ouvert dans le gîte permet d'examiner le terrain jusqu'à une profondeur de 14 mètres dans le sel lui-même. Des sondages, qui n'ont pas traversé la masse dans son entier, ont montré qu'elle avait, verticalement, une dimension bien supérieure à celle de 14 mètres.

Ce qu'on y observe de plus remarquable, ce sont des zones diversement colorées, roses, bleues, grises, jaunes, quelquefois blanches, parfaitement parallèles entre elles sur toute l'étendue où on a pu les observer, c'est-à-dire sur toute la hauteur du puits et sur toute la longueur d'une galerie horizontale de 10 à 12 mètres.

Ce seul fait du parallélisme des zones exclut l'idée d'une génération par voie ignée. On ne comprendrait pas, en effet, comment une sublimation aurait pu produire ces alternances régulières, tout à fait analogues à ce qu'on observe dans les divers bancs de sel de la formation triasique. En présence d'un tel aspect de la masse, il est impossible de ne pas admettre un dépôt sédimentaire.

La direction des zones est N. 38 O.-S. 38 E. Leur inclinaison est de 72° et le prolongement est au nord-est.

Dans le voisinage du dépôt de sel, on trouve des couches de craie marneuse à peu près parallèles à ces zones. Il semble donc que ces zones sont elles-mêmes parallèles au toit et au mur de la masse du sel, et que cette masse forme un banc régulier compris dans un étage de la craie.

Du reste, le terrain est fortement bouleversé jusqu'à

une assez grande distance. On reconnaît plusieurs buttes d'ophite qui ont relevé la craie, et les couches de celle-ci ont pris toutes les directions. Il en résulte une multitude de failles qui empêchent de suivre aucun banc calcaire sur une longueur un peu considérable. Il n'est pas douteux que le banc de sel n'ait lui-même été brisé d'une façon toute semblable, et qu'en certains points il ne se trouve fréquemment interrompu. C'est ce que semblent indiquer les sondages qui, en quelques endroits correspondant précisément à des failles du terrain, sont parvenus à une grande profondeur sans rencontrer la masse de sel.

D'autres sondages, au contraire, ouverts sur une ligne à peu près parallèle à la direction des zones, et entre lesquels on n'observait pas de faille apparente du terrain, ont constamment trouvé le sel à une profondeur peu considérable. Les dernières recherches effectuées sur une longueur de 310 mètres ont même permis d'assigner au banc de sel une limite inférieure d'épaisseur. Les sondages étaient en effet plus ou moins écartés de la direction parallèle aux zones. Le plus grand écart de deux d'entre eux était de 68 mètres. Il suit de là qu'une ligne horizontale, menée dans le banc de sel perpendiculairement à sa direction, aurait au moins 68 mètres de longueur : or le banc faisait un angle de 72° avec l'horizon, la ligne qui mesure l'épaisseur du sel fait avec l'horizontale un angle de 18°; l'épaisseur est donc de plus de 55 mètres.

La puissance de cette masse vient ainsi se joindre à son aspect physique pour repousser toute idée de formation par voie ignée.

On observe plusieurs autres faits qui établissent une grande analogie minéralogique entre le sel de Villefranque et le sel triasique de Dieuze et de Vic. Ainsi on

trouve dans la masse des cristaux de gypse et de polyhalite : le terrain qui recouvre le banc de sel contient aussi du gypse en grande quantité. Ce terrain est formé par des marnes diversement colorées qui ont la physionomie des marnes irisées. C'est ce qui a fait supposer à M. Geindre, dès longtemps familier avec le trias de Lorraine, que le banc de Villefranque n'était qu'un lambeau arraché au trias par l'ophite et poussé à travers les couches de la craie violemment brisées.

Minéralogiquement, cette hypothèse est fort acceptable, mais au point de vue géologique, nous ne saurions l'admettre. Comment concevoir en effet que des couches aussi peu résistantes que celles des marnes irisées du trias aient traversé des couches aussi dures et aussi épaisses que celles du grès vert? Car aucune contestation n'est possible : la mine de Villefranque est géologiquement supérieure à la vaste formation du calcaire schisteux et compacte qui s'étend jusqu'à Cambo. Il faut donc pour que l'hypothèse soit vraie que les marnes irisées aient traversé tout ce terrain. Nous ne parlons pas même du lias qui sans doute aurait dû aussi être traversé. Quant au calcaire jurassique, on suppose qu'il n'existe pas dans cette région.

Il est vrai que le sel porte des traces non équivoques de l'influence ophitique. Ainsi il est imprégné d'une émanation bitumineuse, il est traversé comme par des coins d'ophite et quelquefois de calcaire qui semblent s'être introduits dans une masse fortement comprimée. Mais nous ne contestons pas que la masse ait été soulevée par l'ophite. Ces faits s'allient très-bien avec la notion d'un dépôt sédimentaire formé dans l'étage marneux de la craie, et disloqué ultérieurement.

Nous devons rendre compte d'une circonstance qui au premier abord semble contredire notre assertion.

Nous avons avancé que le sel devait être en banc régulier, incliné à 72° à l'horizon. Or les couches que l'on traverse avant de parvenir au banc n'ont nullement cette inclinaison, et sont au contraire horizontales. Ainsi, entre les couches de calcaires diversement redressées, s'étendent horizontalement des couches marneuses roses, bleues, etc.; en un mot celles où nous croyons que le sel est normalement compris.

Nous allons donner l'explication de cet apparent paradoxe.

En effet, quand le soulèvement ophitique s'est produit, et a fait prendre au terrain les inclinaisons que nous lui voyons, il a pu faire saillir certaines couches jusqu'à une assez grande hauteur; parmi elles se seront trouvées les couches de marnes et celle de sel. Ainsi exposée à l'action des éléments, cette dernière a dû se dissoudre progressivement, et faire ainsi le vide derrière les couches de marnes inclinées sur elle. Bientôt celles-ci manquant de point d'appui, se seront renversées en tournant autour de leur partie inférieure et auront recouvert horizontalement la crête ravinée du banc de sel. La dissolution aura continué dès lors plus lentement, et en tout cas se sera arrêtée quand la crête du banc aura atteint le niveau d'écoulement des eaux de la vallée.

Plusieurs détails confirment cette explication. Ainsi la crête du banc est à peu près à la hauteur du lit de la Nive qui coule au fond de la vallée. Cette crête est ondulée et porte les traces d'un ravinement par les eaux. Le terrain qui recouvre le sel est plus bas que les points environnants où des relations différentes dans l'inclinaison des couches n'auront pas déterminé le phénomène d'affaissement que nous venons d'indiquer. Enfin, quand on examine les marnes elles-mêmes qui

recouvrent le gîte du sel on y trouve de nouvelles preuves : leur aspect général indique une sorte de remaniement par les eaux : elles renferment deux bancs de gypse de 50 centimètres d'épaisseur : ces bancs ne sont plus entiers, ils sont composés d'une série de noyaux amygdalins, aux contours très-arrondis : on y voit souvent du gypse cristallisé blanc : on dirait qu'il s'est effectué une dissolution ultérieure du plâtre, et que les eaux l'ont abandonné à l'état cristallin. Ainsi pendant que les eaux dissolvaient la crête du banc de sel, elles produisaient un effet analogue, mais moins complet, sur la crête du banc de gypse.

Pour terminer ce qui se rapporte au gîte de Villefranque, notons une dernière particularité : c'est la présence d'une grande quantité de cristaux de quartz hyacinthes, disséminés dans le gypse, dans les marnes colorées et dans le banc de sel lui-même. Ces cristaux paraissent d'ailleurs s'être développés librement au sein de la formation. Les circonstances qui ont présidé au dépôt du sel et du gypse, ont sans doute été également favorables à la génération simultanée de cette substance remarquable. Depuis longtemps on avait trouvé du quartz hyacinthe dans la pierre à plâtre des Basses-Pyrénées et dans les marnes colorées de Bastennes, mais on n'en avait pu encore observer dans le sel gemme. La présence de ce minéral est un nouvel et important caractère à ajouter à ceux qui rattachent invariablement dans ce bassin le sel, le gypse et les marnes colorées à une même formation géologique.

A l'établissement d'Oraas, on observe des faits de même nature. L'exploitation du sel s'exerce sur des eaux plus ou moins saturées qu'on remonte au jour par des pompes. De tous temps on connaissait dans la contrée une source salée assez abondante. Des sondages

ultérieurs révélèrent l'existence d'un banc de sel gemme considérable.

Le banc a été rencontré par deux sondages distants l'un de l'autre de 40 mètres environ. La sonde a atteint le sel, dans les deux puits, exactement à la même profondeur, à 64 mètres au-dessous du sol, qui en ce point est parfaitement horizontal. Le directeur des travaux avait conclu de ce fait que le banc de sel lui-même était horizontal. On serait effectivement en droit de le conclure au premier abord, car les deux sondages n'étaient point orientés suivant la direction des couches calcaires voisines, et par suite suivant la direction présumable du sel. Les couches calcaires, en deçà et au delà de la région explorée, ont au contraire une direction commune, perpendiculaire à la ligne des deux sondages. La rencontre du sel aux mêmes profondeurs semblait donc indiquer que la masse était horizontale. En outre les sondages ont traversé, aux deux endroits, les mêmes épaisseurs des marnes colorées, et ensuite une même épaisseur de gypse superposé au sel.

Nous pensons qu'il s'est produit à Oraas exactement le même phénomène qu'à Villefranque. Le terrain a été bouleversé et redressé par l'ophite. Les couches, qui semblent enclaver le gîte, sont situées à l'est et à l'ouest de celui-ci et ont une direction N-S., l'inclinaison est sensiblement partout la même, de 70 à 80°, et le plongement est de même sens, vers l'est.

On ne saurait donc se refuser à voir dans ce terrain une formation continue, que la zone salifère, large de 600 à 700 mètres, dissimule accidentellement, mais ne détruit en aucune façon. Les couches redressées sont les mêmes qu'on voit au sud de Villefranque, c'est-à-dire une succession de lits minces de calcaire compacte et passant au grès, alternant avec la marne feuilletée.

Dans l'orientation de la zone salifère, apparaissent à 2 kilomètres d'Oraas vers Carresse les calcaires marneux colorés semblables à ceux qui à Villefranque enclavent le sel. Il est donc probable que cette formation existait aussi à Oraas, et était redressée comme sont redressées encore les couches plus résistantes qui la comprennent et qui, à l'est et à l'ouest de la saline, forment deux éminences dominant le terrain plat où celle-ci est ouverte. Du reste, en envisageant la contrée dans son ensemble, on voit les formations salifères d'Oraas et de Salies recouvertes vers le nord par les marnes et les craies qui affleurent en divers lieux, notamment à Ramons, Puyoo et Bellocq, et s'appuyant vers le sud sur les grès verts mis à nu dans la tranchée profonde formée par le lit du gave d'Oloron.

L'horizontalité des couches traversées est, comme nous avons dit, le résultat d'un phénomène identique de dissolution. Le banc de gypse et les couches de marnes colorées se sont affaissées en recouvrant la crête du banc de sel. Certaines circonstances confirment aussi cette appréciation : ainsi le niveau du banc est à peu près le même que celui du lit du gave, qui coule à 3 kilomètres et qui représente la partie basse de la contrée. Les couches qui surmontent le sel ne sont pas compactes, mais portent au contraire les traces d'un lavage plus ou moins complet. Enfin, entre le sel et la couche immédiatement au-dessus, il règne des cavités de profondeurs diverses, qui servent de réservoir aux eaux de la surface infiltrées dans le terrain. Nous retrouvons donc les mêmes circonstances qu'à Villefranque.

Quant aux zones parallèles observées dans le premier banc de sel, on n'a pu les constater dans celui d'Oraas, puisque aucun puits de descente n'a été pratiqué dans

la masse : l'exploitation porte uniquement sur les eaux saturées.

La sonde a pénétré de 75m,35 dans le sel, sans atteindre le fond; mais cela n'indique rien relativement à l'épaisseur, puisque le banc est presque vertical. La position relative des deux sondages est plus significative : les deux trous étant distants de plus de 40 mètres, perpendiculairement à la direction présumée du banc de sel, l'épaisseur de celui-ci n'est pas moindre que 35 mètres, et sans doute elle est beaucoup supérieure. C'est là un chiffre du même ordre qu'à Villefranque. Le gypse se montre en place, au point où nous avons signalé la présence de la formation marneuse. Les plâtrières de Carresse et d'Oraas sont ouvertes dans cette région. M. Dufrénoy, dans son mémoire sur les terrains crétacés, a constaté que les bancs de gypse étaient conjugués avec des bancs de calcaires fibreux, disposés parallèlement entre les assises de marnes. On rencontre en effet des lits gypseux alternant très-régulièrement avec des lits calcaires. Ce fait mérite une grande attention, parce qu'il nous fournira un argument puissant quand nous examinerons les opinions qui se sont produites sur l'origine du gypse dans le bassin de l'Adour.

A Briscous et à Urcuit, où on exploite aussi des eaux salées, on a généralement arrêté les sondages dès qu'on a obtenu des sources suffisamment saturées. La profondeur de celles-ci est variable entre 10 et 40 mètres au-dessous du sol.

Ces sources proviennent d'ailleurs de couches entièrement semblables à celles que nous avons déjà mentionnées. Ce sont des marnes diversement colorées, entremêlées de petits bancs de gypse et renfermant des rognons de gypse et de sel gemme. D'ailleurs, on ne peut pas douter que la roche de sel gemme n'existe

aussi dans ces gîtes : elle a été rencontrée à Briscous à 40 mètres de profondeur par un sondage opéré par MM. Thore et Meyrac, il y a une vingtaine d'années.

Quand on se dirige vers Urcuit et Briscous, en venant de l'Adour, on rencontre la succession des calcaires marneux, roses, bleus, jaunes, etc., passant souvent à la marne proprement dite. C'est surtout en allant de Bayonne à Briscous qu'on peut etudier un des types les plus caractérisés de cette formation. Toutes les nuances de couleur, tous les intermédiaires entre le calcaire et la marne s'y rencontrent. Chose assez remarquable, les colorations sont d'autant plus intenses que l'élément marneux domine, en sorte que c'est à ce dernier que les couleurs semblent tenir. Aussi n'est-on pas surpris de trouver des nuances très-vives aux abords de la saline, où les lits calcaires sont tout à fait remplacés par des marnes argileuses.

C'est là que les sondages ont été pratiqués et ont rencontré les sources salées et le sel gemme lui-même.

Quand on est tenté d'attribuer le sel des Basses-Pyrénées soit à un agent éruptif, soit à la formation sédimentaire du trias, on n'a qu'à parcourir attentivement le pays depuis Bayonne jusqu'à Briscous. En voyant toutes ces couches se succéder régulièrement et passer par tous les degrés, jusqu'à l'état de ces marnes ou argiles colorées, caractérisques du sel et du plâtre, il est impossible de ne pas reconnaître que tous les faits sont expliqués par les circonstances mêmes de la formation crétacée.

A Sallies, on exploite de temps immémorial une source jaillissante, très-fortement chargée de sel. Le terrain offre encore le même aspect que dans les localités précédentes. C'est toujours la craie marneuse plus ou moins disloquée. « Les eaux salées sourdent, dit

» M. Dufrénoy, au bas d'une colline à la fois gypseuse » et calcaire ; ces deux roches, constamment juxtaposées » le long de la chaîne, paraissent avoir, près de Sallies, » une relation plus intime. Le gypse forme des couches » subordonnées dans le calcaire, et, près des masses » gypseuses, les fentes du calcaire sont tapissées de » petits cristaux de chaux sulfatée. » C'est la même remarque que nous avons déjà faite à Oraas.

En résumant tout ce que nous avons dit sur ce sujet, nous concluons :

1° Que le sel et les sources salées des Basses-Pyrénées appartiennent à un grand étage salifère, régulièrement déposé dans la partie inférieure de la craie marneuse ;

2° Que les divers gîtes observés peuvent ne pas se faire suite rigoureusement, en ce sens que tout le terrain a été disloqué, mais qu'à coup sûr chacun d'eux se rattache à quelque portion plus ou moins brisée de la formation générale ;

3° Que les marnes ou argiles cololées qui apparaissent dans le voisinage du sel sont liées à celui-ci comme les marnes irisées au sel gemme dans le terrain du trias.

Il nous reste maintenant, afin de prévenir toutes les objections, à expliquer pourquoi la présence du sel est invariablement liée à celle du gypse et paraît se rattacher, en outre, à l'influence voisine d'une éruption ophitique, tandis que si ces faits sont indépendants les uns des autres, ils pourraient souvent se produire isolément.

Quant au gypse, nous ne voyons pas plus de difficulté à admettre sa relation constante avec le sel dans la formation crétacée que dans la formation du trias, où l'on sait que sans manifestation apparente d'aucun

agent éruptif on trouve toujours le gypse et le sel gemme étroitement associés. Il nous paraît tout naturel d'admettre que les mêmes influences qui ont présidé à la formation simultanée du sel et du gypse dans le trias se sont fait sentir aussi pendant la période crétacée : en sorte qu'on doit naturellement s'attendre à voir apparaître le gypse partout où se manifeste quelque gîte salifère. Les deux substances sont d'ailleurs indépendantes de l'ophite, en ce sens qu'elles sont antérieures à l'éruption de celui-ci, et n'ont été influencées par lui que dans l'allure de leur gisement et non dans leur existence même.

Nous allons répondre à cette question qu'on nous posera alors :

Pourquoi le sel n'apparaît-il que dans le voisinage de l'ophite?

Cela doit être, bien que l'ophite n'ait joué aucun rôle dans la production du sel. En effet, voyons ce qui a dû se passer, après le grand soulèvement pyrénéen et avant les soulèvements ophitiques. La chaîne des Pyrénées ayant surgi et ayant redressé toute la formation crétacée, la zone salifère s'est trouvée, comme le reste, mise à nu par sa tranche et soulevée au-dessus de son ancienne position. Dès lors, si les formations subséquentes ont recouvert ces crêtes redressées, il s'est trouvé au-dessus de celles-ci, au moment des éruptions ophitiques, une épaisseur de terrains égale à l'épaisseur de ces formations. Or nous verrons plus tard qu'elle est très-considérable. Donc, à moins que l'ophite n'ait soulevé de nouveau des lambeaux de la craie, ces derniers et par suite le sel sont restés dissimulés sous une hauteur de terrains telle que les recherches industrielles n'ont pas dû les manifester en ces endroits. Si, au contraire, certaines crêtes n'ont pas été ultérieu-

rement recouvertes, c'est que ces crêtes étaient proéminentes et par suite restaient exposées à toute l'influence des éléments. Pendant les longues périodes qui ont suivi le soulèvement pyrénéen, le sel a dû se dissoudre jusqu'à une profondeur considérable, déterminée par le niveau d'écoulement des contrées même éloignées : en un mot, le phénomène de ravinement, produit depuis l'éruption ophitique, que nous avons signalé à Villefranque et à Oraas, se serait exercé sur une bien plus grande échelle.

Donc aussi, dans ce cas, le sel n'a pu être révélé par les explorations industrielles si l'ophite ne l'a pas ramené plus près de la surface.

En outre, nous disons qu'il est fort naturel qu'un assez grand nombre d'éruptions ophitiques se soient produites, de manière à manifester l'étage salifère suivant une direction sensiblement rectiligne et parallèle à la direction générale des couches de la craie.

En effet, le soulèvement pyrénéen a dû déterminer, dans l'ensemble de la formation crétacée, un certain nombre de lignes de ruptures, parallèles au soulèvement lui-même. Les couches se sont trouvées disjointes suivant cette direction. Les bandes de terrain ainsi formées, disposées en longueur suivant la chaîne des Pyrénées, ont été en même temps plus ou moins redressées. Par suite, chacune de ces bandes a présenté sa tranche inférieure à l'effort des agents souterrains. L'ophite, lors de son éruption, a dû presser le long de cette tranche, et la matière ignée, cherchant à s'intercaler entre les divers feuillets, a dû pénétrer de préférence dans la portion marneuse, de toutes la moins résistante. L'ophite est ainsi arrivé au jour, en relevant principalement l'étage salifère, et influençant beaucoup moins l'étage inférieur du grès vert. Cela nous explique la

disposition géographique d'un grand nombre de ces éruptions. Ce n'est là du reste qu'un cas particulier de la remarque beaucoup plus générale faite par M. Élie de Beaumont. Ce savant a observé que les ophites ont surgi suivant un certain nombre de lignes parallèles obliques à la direction de la chaîne des Pyrénées. Ces lignes qui sont vraisemblablement celles de moindre résistance nous paraissent parallèles à celles des gîtes salifères des Basses-Pyrénées, et nous avons dit pourquoi cette direction n'était pas exactement celle du soulèvement pyrénéen.— Nous décrirons un peu plus tard les gîtes où l'on ne trouve que du gypse sans indice de sel. Pour le moment, nous ne nous occupons que des localités, où ces deux caractères sont réunis, ce qui rend les faits encore plus concluants.

#### Terrain gypso-salifère de la Chalosse.

Dans la Chalosse, c'est-à-dire dans la région montueuse qui s'étend à l'est et au sud de Dax jusque vers Grenade et Peyrehorade, on observe un grand nombre de gîtes de pierre à plâtre et plusieurs sources salées en relation constante avec les ophites. C'est là que l'action éruptive semble avoir eu un centre principal de soulèvements. Le pays est tout à fait disloqué : la direction des couches varie à chaque instant, et l'on rencontre une multitude de buttes ou éminences ophitiques d'un aspect bien caractérisé (1).

(1) Plusieurs géologues ont cru que le nom de *pouy* ou pey fort usité dans le pays était affecté exclusivement à ces buttes. Loin de là : ce nom est donné à une multitude d'éminences d'origine quelconque ; on voit même des *pouys* ou peys dans les dunes contemporaines. Cette erreur a eu pour résultat que dans des localités non visitées, où l'on connaissait l'existence de *pouys*, on a supposé la présence de l'ophite qui ne s'y trouvait nullement.

Nous reviendrons plus tard sur les divers gisements de l'ophite et sur les effets, très-variés en cette contrée, qui ont accompagné son apparition. Pour le moment, nous nous occuperons seulement de montrer le rapport qui peut exister entre les gîtes gypso-salifères de la Chalosse et le terrain que nous venons d'examiner dans les Basses-Pyrénées.

Les sources salées de la Chalosse sont groupées principalement autour de Saint-Pandelon, de Gaujacq et de Brassempouy.

Près de Saint-Pandelon et au pied du versant méridional du coteau, on voit une première source assez abondante, mais peu chargée de sel. A quelque distance dans les environs du pouy d'Arzet, on trouve également une source très-faible au bas du coteau, vers le sud, et une autre source dite du Hourn, plus importante que la précédente. En se dirigeant vers Pouillon, on trouve, à 1 kilomètre au sud de Montpeyrous, une autre source salée qui est en même temps sulfureuse : c'est la fontaine de Bidas, au pied du coteau de Campas.

Les sources salées de Gaujacq sont les plus considérables de la contrée ; il existe deux puits voisins inégalement saturés et dont les eaux sont utilisées par les habitants pour leurs usages domestiques.

A Brassempouy, nous ne connaissons qu'une source à un quart-d'heure de la mine de fer oligiste. Elle est très-peu chargée de sel.

Si l'on examine attentivement la disposition géographique de ces sources, on est tout d'abord frappé d'une coïncidence remarquable qui ne peut être l'effet du hasard. Une ligne passant par Saint-Pandelon, Gaujacq et Brassempouy est sensiblement droite et dirigée O.

5° N., E. 5° S., c'est-à-dire parallèlement ou peu s'en faut à la ligne des salines des Basses-Pyrénées.

Rapprochant cette remarque de ce que nous avons dit sur les causes de l'orientation de ces salines, on est porté à croire que des effets analogues se sont produits dans la Chalosse, et que c'est le même agent éruptif qui, pressant le même terrain, a réalisé cette similitude parfaite; en un mot, que les sources salées de la Chalosse appartiennent au même étage que les salines des Basses-Pyrénées.

Ce premier sentiment trouve sa confirmation quand on examine chacun de ces gîtes d'une manière détaillée.

Auparavant nous signalerons un fait qui doit trouver ici sa place naturelle.

Aux environs de Tercis, on rencontre des sources sulfureuses éruptives dont l'abondance a permis qu'on les utilisât pour un établissement de bains. Ces sources sont situées sur le prolongement ouest de la ligne des sources salées; en sorte que voilà une étendue de plus de 12 lieues sur laquelle cette singulière disposition se manifeste.

Il nous reste à voir maintenant si toutes ces sources sont bien réellement situées dans la région marneuse de la formation crétacée, si le redressement des couches est bien dû aux éruptions ophitiques, si enfin les deux zones gypso-salifères de la Chalosse et des Basses-Pyrénées sont minéralogiquement et géologiquement identiques.

Nous aurons à décrire à la fin de ce chapitre les couches calcaires qui, près de Tercis, constituent les escarpements du bord de l'Adour, où elles représentent l'étage supérieur de la formation crétacée. Nous observerons, en outre, que les carrières en aval du Vimport

ouvertes dans des couches de même nature et de même direction présentent une inclinaison inverse de celle de la Grande-Roque et des autres assises immédiatement subordonnées.

En présence de ce renversement subit du terrain, nous avons supposé qu'il devait exister en quelque point, entre la Grande-Roque et le Vimport, une éruption ophitique qui eût agi sur le milieu du terrain et l'eût partagé en le redressant, de telle sorte que les couches de la Grande-Roque et celles du Vimport ne fassent que deux portions d'un même étage appuyées sur les flancs opposés d'une butte ophitique.

C'est ce que l'observation a pleinement confirmé. En suivant la crête du coteau du Vimport à la Grande-Roque, nous sommes arrivés environ à mi-chemin sur une éminence arrondie nommée dans le pays Tuc des marnières de Tercis, et où l'on exploite de la marne pour l'agriculture. Cette marne ne ressemble aucunement à celle qu'on emploie ordinairement et que nous verrons appartenir à la formation tertiaire des faluns; elle est friable sans régularité de stratification, d'un jaune brun ou même d'un rouge vif fortement imprégnée d'ocre ferrugineuse. Entre les fissures de la masse, on observe des taches analogues à celles de l'ophite décomposé. Enfin, et pour achever de la différencier des autres marnes, ses effets d'amendements ne sont pas les mêmes, et elle est réputée inférieure aux marnes des faluns.

Il est impossible de ne pas reconnaître dans ce gîte un exemple de ce qui se présente fréquemment au voisinage de l'ophite, c'est-à-dire une marne modifiée par des imprégnations de la matière éruptive, qui souvent s'est introduite dans la masse entière par une multitude de petites fissures. En creusant un peu dans le

terrain, on rencontre çà et là de ces morceaux arrondis d'ophite, que nous avons désignés sous le nom de boulets. C'est donc un soulèvement ophitique parfaitement caractérisé.

D'après ce qu'on a vu sur la manière dont l'ophite devait soulever de préférence la région marneuse de la craie, on peut s'attendre à voir celle-ci appuyée sur l'ophite. C'est, en effet, ce qu'on trouve plus loin. A mesure qu'on descend le coteau, on aperçoit sur le flanc dénudé et stérile de longues bandes argileuses ou marneuses parallèles, alternativement roses, bleues, jaunes, etc.; enfin semblables d'aspect à la formation de Briscous. Toutes ces bandes conservent d'ailleurs la même direction que les couches calcaires et s'appuyent manifestement sur le noyau central du coteau.

En résumant ce qui précède, on voit :

1° Que les couches de Tercis et les marnes ou argiles colorés du Tuc des marnières constituent la région crétacée analogue à celle qu'on traverse de Bayonne à Briscous;

2° Que l'ophite s'est intercalé dans la partie la plus marneuse et l'a ramenée au jour sans manifester le grès vert.

Actuellement, si l'on se dirige suivant l'alignement des couches et en s'éloignant de l'Adour, on trouve les sources sulfureuses de Tercis qui sont en parfaite orientation avec le soulèvement ophitique. Le terrain avoisinant est d'ailleurs le terrain de la craie. Plusieurs carrières ouvertes dans le voisinage exploitent une pierre identique à celle des carrières de l'Adour.

On est en droit de conclure que les sources sulfureuses doivent être attribuées à l'influence de l'ophite, qui a soulevé le Tuc des marnières et toute la région voisine. La température de ces sources est d'environ

30°, ce qui est un autre caractère d'influence ignée souterraine.

Ce phénomène, bien que se révélant dans la zone de la craie marneuse, ce qui est en conformité avec la tendance générale des éruptions ophitiques, est sans doute entièrement indépendant de ce terrain. Le dégagement sulfureux paraît accompagner souvent l'ophite dans les diverses couches où il se fait jour, et nous en retrouverons de nouvelles preuves lorsque nous parlerons des autres sources sulfureuses qui existent dans la contrée.

Le même terrain de la craie de Briscous se révèle au pouy d'Arzet. Quand on suit la route de Dax à Pouillon, on traverse l'ophite du coteau de Saint-Pandelon ; c'est un des grands épanchements de la contrée. Çà et là se montrent quelques lambeaux de marnes colorées. Un peu plus loin, sur la route de Pouillon, on rencontre une crête de calcaire à silex, et l'ensemble du terrain apprend qu'on se trouve dans la formation crétacée. On quitte la route de Pouillon et on tourne sur la gauche pour aller au pouy d'Arzet. C'est avant d'être au pied de l'éminence ophitique que s'offre une petite source salée et une marnière remarquable par la coloration intense de ses couches : quelques-unes sont d'un rouge très-vif et elles renferment du gypse en cristaux hyalins. La carrière du Hourn, de l'autre côté du Pouy, est très-remarquable. L'ophite apparaît sur le flanc déchiré de la montagne redressant, quelquefois jusqu'à la verticalité, et empâtant de sa matière des couches de marnes violacées et de calcaire. Ces derniers strates, minces et fort nets, d'une épaisseur variable entre 5 et 40 centimètres, s'appuyent sur une puissante formation de marnes colorées, dans laquelle est ouverte une exploitation assez importante. Entre les lits du calcaire

et entre ces lits et les marnes sont intercalés un grand nombre de petits filons d'ophite étendus en strates réguliers parallèles aux feuillets de la formation. C'est d'après de telles apparences qu'on avait sans doute attribué autrefois à l'ophite une origine sédimentaire. Au premier abord, en effet, cette rocne semble parfaitement conjuguée avec les marnes et le calcaire.

La pierre et la marne sont fortement pénétrés par les imprégnations ophitiques au point de prendre souvent l'aspect de l'ophite lui-même. L'émanation volcanique paraît avoir été principalement magnésienne et ferrugineuse, car la coloration primitive a été augmentée par une teinte rouge générale, et la marne est onctueuse au toucher comme une roche talqueuse. Le fer oligiste est disséminé dans tout ce terrain en si grande abondance qu'il est probable que par une enploration peu dispendieuse on découvrirait quelque filon exploitable de ce métal, comme on en voit dans des conditions semblables à Bastennes et à Brassempouy.

La masse entière a dû subir une violente calcination; car les bancs de pierre sont divisés en blocs rectangulaires par une série de fissures perpendiculaires au plan de stratification. Ces fissures ont probablement été déterminées par le retrait qui a accompagné le refroidissement. Du reste, les blocs sont recouverts d'une sorte de vernis blanc, comme si on les avait retirés d'un four à chaux trop chauffé : vernis dont nous expliquerons plus tard l'origine quand nous traiterons du terrain auquel ce calcaire doit être rattaché.

C'est tout à côté de la carrière que la fontaine salée du Hourn sort à travers les marnes rouges et bleues, les mêmes qu'on exploite pour l'agriculture.

Les marnes que nous venons de décrire offrent une

analogie parfaite avec les formations de Briscous et de Villefranque. Leur couleur, leur texture, leurs alternances, les rognons de gypse qu'elles contiennent, les sources salées qui en émanent, complètent l'identité.

Nous n'hésiterons donc pas à les classer dans l'étage marneux de la craie, et à attribuer la source salée à quelque banc plus ou moins puissant de sel gemme, qui, à une certaine profondeur, doit exister dans la formation marneuse, comme à Villefranque.

Quant au calcaire dans lequel est ouverte la carrière, et dont l'aspect physique est si caractérisé, il n'appartient pas à cette formation, ainsi qu'on serait tenté de le croire au premier abord, d'après la concordance apparente de la stratification et le voisinage immédiat des couches de marnes. Quelques fossiles fort reconnaissables, que nous sommes parvenus à trouver en examinant plus de quatre cents tas de cette pierre employée à ferrer les routes, ne permettent pas de l'annexer au terrain crétacé. C'est au contraire un lambeau d'un terrain beaucoup plus récent, que nous décrirons plus tard sous le nom de *fahluns bleus*. Quant à sa présence près des marnes de la craie, dans les circonstances que nous venons d'indiquer, elle est très-naturellement explicable, et cette association se représentera de la même manière dans plusieurs autres localités. En effet, le soulèvement pyrénéen ayant, comme on a vu, redressé les couches crétacées, ainsi que les couches nummulitiques également antérieures à l'apparition des Pyrénées, les terrains postérieurs se sont déposés horizontalement sur les crêtes mises à nu. Or les fahluns bleus paraissent être le premier terrain qui, dans le bassin de l'Adour, ait succédé au soulèvement pyrénéen. La disposition générale est donc celle que représente la *fig.* 1. Supposons actuellement qu'une éruption

d'ophite, survenant plus tard, s'insinue entre les couches de la craie marneuse : elle brisera la couche supérieure des fahluns bleus, et ceux-ci s'appuieront immédiatement sur la craie marneuse, avec une direction qui, souvent, sera à peu près la même.

La source de Saint-Pandelon nous offrirait des conclusions analogues. La formation marneuse y est très-puissante, et a été relevée par l'ophite.

La source de Bidas est dans le même cas. A la vérité, on ne la voit pas sortir immédiatement du terrain gypso-salifère, mais l'étage marneux de la craie se montre à une faible distance. Ainsi la marnière de Serres, qui n'est guère qu'à 1 kilomètre de la source, est ouverte dans des marnes imprégnées d'ophite, qui ont tous leurs caractères habituels de coloration. Le coteau de Campas, au pied duquel est la source, est entièrement formé par l'ophite. Nous pensons donc que la formation salifère est peu inférieure, et que c'est de là que vient la source salée, laquelle a aussi des propriétés sulfureuses qui lui sont sans doute communiquées par l'ophite, ainsi que nous en avons déjà vu des exemples.

Dans cette localité, l'étage gypso-salifère, déjà manifesté par la source salée et par les marnes de Serres, l'est encore par les nombreux affleurements de gypse qui se montrent dans le voisinage. Peu de régions en renferment autant que celle-ci. Près de la source un petit ruisseau coule sur le gypse même, ou plutôt on rencontre presque partout le gypse à une très-faible profondeur, 3 ou 4 mètres au plus. Dans le coteau de Campas, à quelques mètres au-dessus du niveau de la fontaine, on voit deux anciennes carrières à plâtre, aujourd'hui abandonnées. Le gypse y affecte des colorations diverses, analogues à celles des marnes; et des lambeaux de ces dernières substances se montrent con-

jugués avec le gypse, soit dans les carrières mêmes, soit à quelques pas de là. Mais c'est surtout dans les plâtrières de Montpeyrous, de Lagrange, que la formation gypseuse acquiert une importance remarquable. Plusieurs exploitations y sont ménagées et fournissent le plâtre de Pouillon, bien connu dans l'industrie du département. Nous devons donner quelques détails sur ces gîtes, parce qu'ils offrent de très-bons types de ce que nous trouverons dans plusieurs autres localités.

Le gypse est généralement blanc, et quelquefois gris, rose, jaune. Il est en masse très-compacte, d'une stratification peu observable; mais les ouvriers reconnaissent parfaitement une certaine direction de lits suivant lesquels la pierre offre moins de résistance à l'avancement des travaux. On extrait à ciel ouvert, dans des excavations qui atteignent jusqu'à 20 mètres de profondeur, et qui le plus souvent obliquent dans le sens des lits. Le gypse contient des cristaux cubiques de pyrites, et des fragments de calcaire semblables à ceux qu'on trouve dans le banc de sel de Villefranque. La présence de ces fragments est assez difficile à expliquer, et on a même voulu en tirer un argument pour contester l'origine sédimentaire de la masse. Mais comme ce fait se présente, disons-nous, d'une manière identique dans le sel, pour lequel la question ne saurait être douteuse, il ne prouve absolument rien pour le gypse. Il est probable que ces blocs étrangers ont été poussés par l'ophite, dans des circonstances que nous ne pouvons apprécier suffisamment. On conçoit d'ailleurs qu'ils aient pu pénétrer la masse gypseuse, beaucoup plus tendre que le calcaire lui-même. La température de ces blocs était sans doute, à ce moment, fort élevée : et ce qui tend à le confirmer, c'est que ces morceaux sont enveloppés d'un vernis blanc, indice de fu-

sion, et portent fréquemment implantés sur leur surface, et étroitement entremêlés, des cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée et des cristaux hyalins de chaux sulfatée. Il semble que tout autour de chaque fragment, il se soit produit des phénomènes particuliers de cristallisation dus à la chaleur qui a régné tout à coup dans la sphère environnante.

Toute la région, de Campas à Montpeyrous, porte de grandes traces de l'action ophitique. Outre les épanchements de la matière ignée visibles, soit au coteau de Campas, soit à la marnière de Serres, soit dans la carrière de Montpeyrous, ouverte dans l'ophite pur, on trouve plusieurs autres faits en harmonie avec les précédents. Ainsi, à 3 ou 400 mètres de la fontaine de Bidas, la carrière de M. Gettin exploite le calcaire des faluns bleus, qui en certains points revêt un aspect identique à celui du Pouy-d'Arzet. A quelques pas de cette carrière, le sol est jonché de pierres poreuses semblables aux pierres ponces des volcans actuels, et mélangées à des débris de calcaire calciné.

L'ensemble de ces faits, sur lesquels nous avons cru devoir donner quelques détails, à cause de leur importance pour la géognosie de la contrée, nous démontre donc :

1° Que le gypse et la source salée se rattachent à la formation gypso-salifère de la craie ;

2° Que cette formation, mise au jour par l'ophite, a subi des phénomènes analogues à ceux qu'on observe dans le banc de sel de Villefranque, et qu'elle se montre en contact avec l'étage des fahluns bleus, comme nous l'avons déjà constaté au Pouy-d'Arzet.

Les sources salées de Gaujacq offrent un nouvel exemple bien caractérisé de la formation gypso-salifère.

Ces sources se trouvent au pied du coteau de Gau-

jacq, et tout porte à croire qu'elles viennent de cette région. Or quand on se dirige vers le coteau, et qu'on le gravit par le chemin qui passe devant les sources, on rencontre une alternance de marnes et d'argiles colorées, avec toutes les variétés de nuance et de compacité que nous leur connaissons à Briscous et à Villefranque. Entre ces couches sont intercalés des lits plus ou moins minces de calcaire dur et souvent fibreux, qui complètent la ressemblance avec le terrain de Briscous.

A mesure que l'on s'approche davantage du noyau central de l'éminence, les marnes ont des colorations de plus en plus intenses, et portent de plus grandes traces d'une haute température.

Sur le versant opposé aux marnes, on trouve plusieurs crêtes calcaires, dans lesquelles sont ouvertes des carrières qui exploitent une pierre très-ressemblante à celle d'Arzet: cette pierre paraît d'ailleurs être d'autant moins métamorphisée qu'on s'éloigne davantage du centre éruptif. Nous y avons reconnu les mêmes fossiles qu'à Arzet, ce qui la rattache à la formation des falhums bleus. L'identité de tous les caractères physiques démontre que les mêmes phénomènes de calcination se sont produits dans ce terrain. Nous avons expliqué précédemment pourquoi l'étage des falhums bleus apparaissait souvent en contact immédiat avec l'étage gypso-salifère de la craie. Nous ne reviendrons pas sur ce sujet, nous bornant à enregistrer cette nouvelle confirmation de nos idées relativement à la manière dont l'ophite a soulevé les couches superposées.

Dans le voisinage du coteau de Gaujacq on retrouve ce terrain, avec la succession complète du calcaire silicifère et des marnes reposant sur l'ophite, absolument comme au tuc des marnières de Tercis.

Quand on suit le sentier qui mène du moulin d'Arimbla, près Bastennes, à la marnière de Cassoura, on remarque, sur la pente du coteau de Cassoura, que le terrain superficiel est couvert de ces débris de silex, aux arêtes tranchantes, caractéristiques des bans de Tercis. La fraîcheur de tous les morceaux annonce déjà que l'on est dans le voisinage de la formation crétacée. En effet, au bas du coteau, on ne tarde pas à rencontrer de nombreuses crêtes calcaires, saillant sur le chemin, dont quelques-unes sont privées de silex, et dont d'autres en renferment en abondance. Nous aurons lieu de revenir sur cette localité remarquable, lorsque nous parlerons des terrains supercrétacés, dont le plus inférieur se montre ici, appuyé sur les couches calcaires. Il ne peut donc y avoir de doute sur l'identité de la craie. La direction commune des crêtes calcaires paraît être S.-O. N.-E. avec prolongement au N.-O. Un peu plus loin est la marnière de Cassoura, exploitée pour l'agriculture. C'est une alternance de marnes rouges, bleues, jaunes, où le rouge domine, parfaitement parallèles, et ayant même direction et un plongement de même sens que les couches de craie. Cette marnière est justement célèbre par l'abondance des arragonites qu'elle renferme. On n'a en quelque sorte qu'à se baisser pour ramasser de ces minéraux par centaines. On y trouve aussi du gypse fibreux, qui paraît distribué en fragments irréguliers dans certaines couches, ainsi que des cristaux de quartz hyacinthe, comme à Villefranque.

En continuant à suivre le chemin qui se dirige vers Bastennes en remontant un autre coteau, on trouve de nouvelles couches de marnes colorées. Vers le sommet la nature du sol change tout à coup. Les zones parallèles de la marne disparaissent, et les déblais superficiels

décèlent la présence de l'ophite décomposé : en creusant légèrement, on met à nu les *boulets* si caractéristiques.

Tout le sommet et une partie du versant opposé sont formés par l'épanchement de la matière éruptive ; on discerne même des lits minces d'ophites, quelquefois horizontaux, qui semblent avoir débordé par-dessus les couches soulevées. Enfin on retrouve un peu plus loin, sur ce second versant, les mêmes marnes qui s'appuyent sur le premier. Les alternances de couleur n'y sont pas moins visibles. La direction est sensiblement la même, mais l'inclinaison est en sens inverse, ce qu'on devait prévoir : c'est au milieu de ces marnes qu'on parcourt ainsi perpendiculairement à leur tranche, qu'est exploitée la mine de fer oligiste de Bastennes, où le gypse est intimement mélangé au fer et aux marnes colorées.

La formation marneuse est là d'une grande puissance, car elle continue jusqu'à 3 ou 400 mètres plus loin, à la carrière de Casse-Biel. Cette carrière est abandonnée aujourd'hui, mais on peut encore en observer très-bien les caractères. On y exploitait un calcaire dur et cassant, en lits peu épais, dans les joints desquels sont intercalés des filons d'ophite. Pour tout dire en un mot, c'est exactement le gisement de la pierre d'Arzet, et toute la formation est dirigée S.-O. N.-E. comme à Cassoura, et plonge au S.-E. Nous retrouvons donc encore ici le terrain des fahluns bleus reposant sur les marnes, avec une direction à peu près la même.

Entre la carrière de Casse-Biel et la marnière de Cassoura, sur le dôme ophitique lui-même, est située la mine de fer oligiste de Bastennes qui présente un remarquable exemple de la dislocation d'un banc sédimentaire.

L'exploitation a mis à nu l'ophite à des profondeurs

variables. Les matières qui recouvrent la roche volcanique, sont un mélange de marnes colorées, de blocs de gypse et de fer oligiste. Les marnes sont contournées, repliées dans tous les sens, imprégnées de fer : l'ophite s'est épanché en veines dans la masse, et y a formé des boulets en décomposition. Des cavités, quelquefois considérables, sont remplies de fer oligiste, tantôt en rognons, tantôt en petits filons irréguliers. Les blocs de gypse sont pêle-mêle et affectent les positions les plus bizarres. Leur surface est enduite d'émanations ferrugineuses qui y ont déposé un vernis et ont même assez pénétré dans l'intérieur pour y déterminer une couleur violette générale. La partie inférieure des blocs est comme rongée par le feu : on y voit de vastes géodes ouvertes, avec des stalactites de gypse : on dirait la paroi d'un creuset, remplie d'une matière fondue, et qu'on aurait renversé à moitié du refroidissement. La masse du gypse est parcourue par une multitude de petits filets de gypse blanc cristallisé. Il semble que sous l'influence de la chaleur il se soit produit un phénomène analogue à celui qu'on observe si fréquemment dans le calcaire. Au sein de la pierre on trouve des cristaux de quartz hyacinthe, très-abondants dans les marnes rouges d'un champ voisin. Si l'on examine de près la surface luisante de chaque bloc, on reconnaît une multitude de stries parallèles, parfaitement nettes, dont la coloration varie légèrement d'une strie à l'autre. Si on casse ces blocs, la cassure a lieu suivant le plan des stries. Il est impossible de ne pas reconnaître l'origine sédimentaire de ce gypse, et d'expliquer sa présence autrement que par la rupture d'un banc régulier, puisque les blocs, sans lien de stratification les uns avec les autres, ont conservé individuellement les

traces authentiques de leur stratification primitive. Ce banc était conjugué avec les marnes gypseuses de Cassoura, comprises dans le même terrain et séparées par l'éruption de l'ophite. La formation gypso-salifère reprend d'ailleurs les allures régulières que nous avons décrites ci-dessus, à mesure que vers le nord-ouest ou le sud-est on s'éloigne de ce centre de bouleversement.

La source salée de Brassempony donne lieu aux mêmes observations.

La seule différence qu'on puisse signaler entre le terrain des Basses-Pyrénées et celui de la Chalosse, c'est que dans cette dernière contrée, la formation gypso-salifère présente des colorations plus vives et en général des traces d'une calcination plus complète et surtout plus générale. Ainsi le rouge-brique domine dans les marnes, et le calcaire voisin est presque toujours métamorphisé. Ces faits ne doivent pas surprendre quand on songe à l'intensité que paraissent avoir eue dans la Chalosse les éruptions ophitiques. Soit par une plus grande puissance de l'agent igné, soit par une disposition plus favorable des terrains, il est certain que la matière éruptive a pénétré bien plus intimement les couches soulevées, et les a altérées davantage. En outre, comme nous avons déjà dit, ces éruptions ont été extrêmement multipliées dans quelques centres principaux. C'est sans doute à ces causes que doit être attribuée la rareté des fossiles dans la pierre d'Arzet, de Gaujacq, de Casse-Biel, tandis qu'ils sont très-abondants dans les autres couches, non modifiées, des fahluns bleus.

Nous devons présenter aussi une autre considération, qui a paru être à quelques géologues une difficulté sérieuse pour l'assimilation de la craie chalossaise avec celle des Basses-Pyrénées : c'est le manque, dans la Chalosse, de l'étage du grès vert qui a tant de puissance

au sud de la formation salifère des Basses-Pyrénées. Il est certain, en effet, que nulle part, dans les points que nous venons d'examiner, on ne retrouve le grès vert sous les calcaires marneux. Les marnes s'appuient partout immédiatement sur l'ophite, et on ne peut leur rattacher, ni de près ni de loin, aucun lambeau visible du grès vert.

Les idées que nous avons émises au sujet du mode d'action des ophites sur les terrains de la craie, expliquent pourquoi en Chalosse, de même que dans les Basses-Pyrénées, c'est la formation marneuse qui s'appuie sur l'ophite, sans interposition de grès vert. De ce côté, il ne saurait donc y avoir d'embarras, et s'il est vrai que le grès vert dût apparaître, ce ne pourrait être, en tous cas, que d'une manière analogue à ce qui a lieu dans les Basses-Pyrénées, c'est-à-dire au sud de la zone salifère, et avec le redressement donné par la formation de la chaîne. Or, on conçoit très-bien que le soulèvement pyrénéen, agissant sur le grès vert de Bidache, Mauléon, Oloron, etc., l'ait exhaussé assez pour le mettre à nu même de nos jours, et ait pu exhausser beaucoup moins le grès vert de la Chalosse bien plus éloigné du centre d'action : en sorte qu'en ce dernier pays, le grès vert est entièrement recouvert par les formations subséquentes qui, en effet, comme nous verrons, s'étendent dans toute la contrée, tandis qu'elles manquent le long des Pyrénées. Et quant à la formation salifère elle-même, si elle a été mise à nu, c'est grâce à l'action des ophites, qui s'est exercée exclusivement sur elle, par sa tranche, et n'a nullement soulevé les étages inférieurs.

D'après tout ce qui précède, nous voyons donc qu'on doit appliquer à la Chalosse ce que nous avons dit sur les salines des Basses-Pyrénées, c'est-à-dire que les

sources salées et le gypse se rattachent à une formation gypso-salifère générale : la même que celle de Villefranque, Briscous, Oraas, etc.

On peut en déduire une conséquence industrielle importante : c'est que des sondages convenablement dirigés dans la formation des marnes colorées de la Chalosse aboutiraient probablement à la découverte du sel gemme. La température des sources salées et sans doute aussi les niveaux d'écoulement des contrées avoisinantes fourniraient quelques données approximatives sur la profondeur des gîtes salins.

On assure qu'un sondage, exécuté autrefois par M. Lefebvre, ingénieur des mines à Mont-de-Marsan, rencontra le sel gemme, non loin du Pouy d'Arzet, à une profondeur de 40 mètres environ, mais que le trou de sonde ayant été comblé par malveillance les travaux furent discontinués. Le départ de M. Lefebvre, qui quitta le pays peu de temps après, ne permit pas sans doute de renouveler cette intéressante recherche.

Il nous reste à mentionner quelques gîtes de pierre à plâtre qui ne se trouvent pas immédiatement associés avec des sources salées. Nous n'hésitons pas néanmoins à les rattacher à la formation gypso-salifère, car, outre que pour chacun d'eux en particulier l'examen du gisement nous révèlera le terrain des marnes colorées, on conçoit aisément que le gypse se montre souvent sans être accompagné de sel : en effet 1° ces deux substances n'existent pas nécessairement à la fois en tous les points de la formation générale; 2°.là où elles existent, les phénomènes de dissolution postérieurs ont pu faire disparaître le sel jusqu'à une assez grande profondeur, en laissant le gypse qui est beaucoup moins soluble.

La pierre à plâtre de Bidart, près Biaritz, est évidemment comprise dans l'étage gypso-salifère.

Nous n'avons pu la voir en place, la carrière étant abandonnée depuis plus deux ans, et les éboulements ayant recouvert toutes les entailles. M. Dufrénoy qui a donné quelques détails sur ce gîte dans son *Cours de Minéralogie*, assure que le gypse semble avoir été ramené du dessous par un agent éruptif. L'aspect du terrain confirme cet aperçu. Au voisinage de la plâtrière, les couches qui la comprennent, au nord et au sud, se contournent et revêtent un aspect de calcination. On ne voit pas l'ophite au jour, mais il peut très-bien avoir soulevé les terrains sans pourtant les avoir percés tout à fait. L'ensemble des couches représente d'ailleurs la formation gypso-salifère dans toute sa netteté. Ainsi, à mesure qu'on s'avance de Biaritz vers Saint-Jean de Luz, le long de la côte, on rencontre successivement, au-dessous des calcaires nummulitiques, d'abord des couches calcaires, plus ou moins compactes, avec ou sans silex, qui représentent la craie silicifère supérieure, puis des couches de calcaires marneux, analogues à ceux de Briscous, de Villefranque ou d'Oraas, colorés en rose tendre et en bleu, puis des marnes, passant par degrés insensibles soit au calcaire, soit à l'argile, et présentant toutes les nuances de couleur correspondantes, jusqu'au rouge vif et au bleu d'acier, caractéristiques de ce que nous avons nommé les marnes ou argiles colorées. C'est dans cette dernière région que le plâtre est enclavé; là se trouve une zone de bouleversement, sans doute siége de l'éruption ophitique. A la suite, la formation marneuse reprend sa régularité, et est suivie, avec une direction et une inclinaison constantes, de toutes les variétés constitutives du puissant étage du grès vert. Nous n'avons pu voir, disons-nous, le gypse en place, mais d'après les anciens ouvriers de la plâtrière, les blocs sont entièrement brisés et gisent

pêle-mêle dans les couches marneuses, sans avoir entre eux aucun lien de stratification. C'est ce que nous avons déjà vu pour le gypse de Bastennes ; aussi croyons-nous que ces blocs sont des débris d'un banc régulier, compris dans la formation gypso-salifère, que l'ophite a disloqué ultérieurement, tandis que les marnes environnantes, plus maniables, ont pu conserver leur continuité en se prêtant à tous les contournements que la matière éruptive leur a fait subir.

M. Dufrénoy a reconnu dans l'intérieur des blocs gypseux des fragments de calcaire empâtés, qui ont une texture saccharoïde, et qui renferment quelques fossiles du terrain crétacé. On trouve aussi des morceaux d'ophite engagés dans la marne. Cette circonstance est, comme on le voit, absolument la même que nous avons déjà signalée dans le gypse et le sel de Villefranque, ainsi que dans les gypses de Pouillon.

La formation des marnes se retrouve très-régulièrement, à quelque distance de la côte, au quartier de la Négresse. En gravissant les escarpements qui s'élèvent sur la gauche de la route de Bayonne à Saint-Jean-de-Luz, on remarque de longues bandes marneuses parallèles, avec les colorations qui leur sont habituelles. Cette région, plus éloignée sans doute du mouvement ophitique que le gîte de la pierre à plâtre, a conservé beaucoup mieux les allures primitives de l'étage gypso-salifère. Elle est d'ailleurs située dans l'alignement général des salines. Il est donc probable que des recherches industrielles y manifesteraient la présence du gypse et celle du sel.

La platrière d'Urcuit, sur le bord de l'Adour, est ouverte à 1 kilomètre de la saline. Le gypse s'y présente comme à Pouillon, c'est-à-dire en masse compacte, diversement colorée, entourée de quelques lambeaux

marneux, et offrant un lit peu distinct de stratification suivant lequel l'abatage offre plus de facilité. Le terrain gypso-salifère s'étend au sud de ce gisement, dans les environs de la saline. La carrière et la marnière d'Aldap, au port d'Urcuit, mettent en évidence l'étage des fahluns bleus à 5 ou 600 mètres de la pierre à plâtre. Cet étage ne porte pas d'ailleurs les traces de calcination que nous avons observées à Gaujacq et au Pouy-d'Arzet; mais il est à remarquer que l'ophite n'est pas dans le voisinage immédiat, car il n'affleure même pas dans la plâtrière. Il a dû agir souterrainement, comme à Bidart, sans parvenir jusqu'à la surface, et même sans disloquer aussi complétement le banc de gypse.

Les plâtrières d'Espelette et d'Itxassou montrent des lambeaux du même étage gypso-salifère. Les amas sont compactes, d'une stratification confuse, parcourus de petits filets de gypse saccharoïde blanc, comme à Bastennes. Ces filets sont distribués principalement dans le voisinage de l'ophite qui souvent s'est intercalé dans la masse. A Espelette, notamment, la matière éruptive a pénétré en filons à travers les fissure du gypse, et elle forme le noyau de l'éminence sur le flanc de laquelle l'exploitation est pratiquée. Des marnes colorées sont conjuguées avec le plâtre : tantôt elles en divisent la masse en la sillonnant par des bandes parallèles; tantôt elles s'appuient sur elle et forment le toit du gîte.

La formation marneuse apparaît avec tous ses caractères sur le chemin qui conduit du village d'Espelette à la fabrique de kaolin de M. Potel. Les bandes colorées revêtent un aspect général de calcination, et contiennent parfois des imprégnations d'ophite. Le chemin est ouvert sur la tranche de ce terrain, et la parcourt obliquement sur une étendue de 4 à 500 mètres. Un im-

mense épanchement d'ophite forme plusieurs coteaux sur la droite, entre le chemin et la route d'Espelette en Espagne.

Dans la plâtrière d'Itxassou, l'ophite a également relevé tout le terrain, et le gypse est enclavé dans les marnes qui reposent sur une butte ophitique. Ces marnes ont été si fortement calcinées qu'elles ont revêtu l'aspect de véritables schistes, sans toutefois perdre leurs colorations alternatives qui, au contraire, sous l'influence de la chaleur, sont devenues encore plus vives, ainsi que nous l'avons déjà observé à Bastennes, à Gaujacq, au Pouy-d'Arzet. Le versant opposé de l'éminence est formé par les couches du grès vert. Celles-ci, naturellement feuilletées, comme entre Briscous et Bidache, sont devenues tout à fait schistoïdes par suite de la haute température qu'elles ont subie, et ont affecté en outre, en s'imprégnant d'émanations ferrugineuses, des nuances rouges et violettes, qui s'affaiblissent graduellement à mesure qu'on s'éloigne du centre éruptif. Le relèvement ophitique a dirigé les couches du nord au sud, des deux côtés de la butte centrale.

La plâtrière de M. Crouchet, près Pontacq, présente des faits analogues. L'amas est très-puissant, et est connu sur plus de 40 mètres de profondeur. Le gypse est compacte et assez riche en parcelles siliceuses, qui font feu sous le pic, et resplendissent au soleil. Nous avons discerné une stratification confuse dirigée E.-O. et plongeant de 45° au sud. Les morceaux calcaires se rencontrent quelquefois, mais sans fossiles caractérisées.

Des affleurements calcaires, que nous croyons pouvoir rattacher aux fahluns bleus, apparaissent à peu de distance vers le quartier de Coarraze.

Quant à l'ophite, on en rencontre un conglomérat bien défini au sortir de Pontacq, dans les talus de la route de Pontacq à Tarbes, en montant la grande côte: c'est une terre d'ophite décomposé et fortement mélangé d'argile, empâtant des galets d'ophite en voie de décomposition. Le coteau est sans doute entièrement formé par la matière éruptive.

Le gisement de gypse est entouré de quelques marnes noires et bleues, plus ou moins influencées par la chaleur. La formation marneuse se montre plus nette et plus complète, à 1 kilomètre de la plâtrière, sur la route de Pontacq à Pau, s'appuyant sur le coteau dont nous venons de parler.

Dans la plâtrière de Lurde, sur le bord du gave, à 8 kilomètres au sud d'Oloron, les marnes ne se montrent pas dans le voisinage immédiat du gypse. Cela tient à la disposition même du terrain qui a déterminé un ravinement profond. Les marnes ont été emportées par les eaux jusqu'à une assez grande profondeur et ont été recouvertes par les alluvions de la rivière. Le gave s'est frayé un passage à travers les couches redressées, qu'il a brisées, en formant ainsi une vallée assez étroite où les eaux torrentielles coulent avec une grande impétuosité. Le gypse est dissimulé lui-même sous les alluvions superficielles. On le trouve à quelques mètres de profondeur, sur la rive gauche et dans le lit du cours d'eau. On ignore les allures de cet amas qui, d'après l'opinion des carriers, se relève vers les deux confins de la vallée, parallèlement au sol lui-même. Le gypse est compacte, assez homogène, avec une stratification confuse qui nous a paru dirigée du N.-N.-O. au S.-S.-E. Quelques blocs calcaires se rencontrent au sein de la masse. Des affleurements de marnes colorées se montrent sur la route d'Oloron à Lurde, un peu avant d'ar-

river dans cette dernière localité. L'ophite n'est pas arrivé au jour, son action a été toute souterraine, comme à Bidart, à Urcuit, etc.

Nous croyons inutile de multiplier davantage les descriptions des gîtes gypseux. Tout ce qui précède montre suffisamment que ces gypses, bien que n'étant pas extérieurement associés à du sel ou à des sources salées, appartiennent pourtant à la formation générale gypso-salifère.

Nous terminerons cet exposé en réfutant une opinion qui s'est produite dans ces derniers temps, touchant l'origine des gypses du bassin de l'Adour. Cette opinion, émise notamment dans les Bulletins de la Société géologique de France, consiste à attribuer la formation de cette substance à l'action sulfurante de l'ophite s'exerçant sur des bancs calcaires.

La seule preuve dont on ait étayé ce système est la présence même du soufre dans les éruptions ophitiques. On cite de nombreuses sources sulfureuses telles que celles de Tercis, de Gaujacq, de Saint-Pandelon, celles surtout de Saint-Boës, et enfin la présence du soufre natif dans cette dernière localité, et aux environs d'Ortez.

Il est certain, en effet, que l'ophite paraît être accompagné fréquemment d'émanations sulfureuses, et on pourrait citer plusieurs autres endroits, Dax, le Pouy-d'Arzet, Montpeyrous, Espelette, Ogeu, etc., où les sources sulfureuses se montrent également dans le voisinage des ophites.

Mais d'abord le soufre contenu dans ces sources est invariablement à l'état d'hydrogène sulfuré, et rien ne prouve qu'il y ait jamais existé autrement, soit comme acide sulfureux, soit comme acide sulfurique. Au con-

traire, la présence même du soufre natif confirme la première opinion. Or il est difficile d'admettre que le gaz sulfhydrique ait pu attaquer les calcaires et les convertir en gypses. Les réactions chimiques ne révèlent rien de semblable, et elles démontrent même que l'hydrogène sulfuré est sans influence sur le calcaire à quelque température qu'il le traverse.

L'observation des faits géologiques confirme entièrement cette appréciation chimique. Ainsi, il est presque sans exemple, dans le bassin de l'Adour, qu'aucune source sulfureuse sorte d'une masse de gypse ou dans son voisinage immédiat, et tous les gypses connus, sauf un seul, sont beaucoup plus éloignés de ces sources que les calcaires eux-mêmes qui sont d'ailleurs entièrement inattaqués.

Ainsi la source d'Arimbla, à Donzacq, sort d'un coteau calcaire, et le gypse ne se trouve qu'à 4 ou 500 mètres, à Cassourà ou à la mine de fer oligiste; à Saint-Boës, la source coule entre des calcaires bitumineux sans pierre à plâtre; à Ogeu, près Oloron, on ne connaît pas de gypse dans le voisinage; à Tercis, la source, qui est fort abondante et en outre thermale, vient au jour entre les bancs de la craie salicifère, et le gypse n'apparaît nulle part, etc. Ce n'est qu'à Bidas, près Montpeyrous, que la fontaine sulfureuse, qui est en même temps salée, coule dans la formation gypseuse : encore même trouve-t-on le calcaire inattaqué à peu de distance dans la carrière de M. Gettin.

Ces faits prouvent assez combien l'opinion ci-dessus énoncée est peu fondée. Il serait singulier en effet, si elle était juste, que ce fût précisément dans le voisinage immédiat des sources que le calcaire n'eût pas été altéré.

L'observation individuelle de chaque gîte fournit de

nouveaux arguments. Ainsi, là où le gypse est associé au calcaire, comme à Salies, à Carresse, etc., la séparation entre les deux substances est nette et régulière; ce ne sont pas des bancs plus ou moins attaqués dans lesquels la transition du gypse au calcaire s'effectue graduellement, ou des filons d'une de ses deux matières intercalés dans la masse de l'autre; ce sont, au contraire, des couches alternatives de calcaire et de gypse. Il est visible, par l'inspection de ces gisements, que ces produits sont nécessairement dus à des influences alternatives s'exerçant au sein même des mers où ils ont été déposés. Les surfaces de jonction des bancs sont quelquefois couvertes de cristaux mélangés de chaux sulfatée et de chaux carbonatée qui semblent indiquer le passage d'une influence à l'autre. Dans les gîtes où le gypse est associé aux marnes, comme à Bastennes, à Cassoura, à Villefranque, à Espelette, etc., jamais les marnes ne présentent de trace d'altération sulfureuse. Or, si le calcaire avait été converti en pierre à plâtre, la même action eût nécessairement attaqué les marnes et les eût partiellement converties en sulfate d'alumine. Ce fait s'observe tous les jours dans les mines de houille en combustion naturelle : le soufre des pyrites mélangées à la houille transforme en sulfate d'alumine ou en alun les schistes houillers. Donc, en supposant que dans les gîtes de plâtre, les sels d'alumine formés eussent été emportés par les eaux, on devrait au moins retrouver des dépôts de silice gélatineuse, ce qui ne s'observe jamais. De même encore, dans les localités où le gypse est associé au sel gemme, quelquefois de la façon la plus intime, l'agent qui aurait sulfatisé le calcaire aurait aussi sulfatisé le chlorure de sodium et l'aurait converti en sulfate de soude; comme il n'en a rien été, la présence de fragments de

gypse dans le banc de sel demeure inexplicable par ce système.

On ne saurait objecter qu'il peut y avoir des gypses d'origines diverses, les uns conjugués sédimentairement avec le sel, les autres dus à l'action ophitique; car, outre le caractère peu rationnel de cette double hypothèse, elle est diamétralement en opposition avec les faits. Non-seulement il y a identité des gisements au point de vue géologique, mais encore comment admettre une dualité d'origines en présence de certains phénomènes minéralogiques qui établissent une ressemblance de plus entre les gypses des diverses localités ? Ainsi les cristaux de quartz hyacinthes qu'on trouve dans le sel de Villefranque se trouvent aussi dans le gypse de ce même lieu, dans le gypse de Bastennes, de Cassoura, etc., et en général dans la plupart des gypses des Pyrénées, ainsi que l'a fait remarquer M. Dufrénoy dans son Traité de minéralogie. De même, des blocs calcaires sont enclavés dans tous les amas gypseux : on a voulu voir dans cette circonstance un témoignage de l'action sulfurante qui aurait respecté certains noyaux plus réfractaires que le reste de la masse. Mais ces blocs se montrent dans le sel aussi bien que dans les gypses; l'explication est donc inadmissible. Il est bien plus logique de concevoir que ces blocs ont été poussés après coup dans la masse, soit saline, soit gypseuse, et que les cristallisations gypsospathiques, ainsi que la croûte gypseuse qui les entoure, sont dues à la haute température avec laquelle ces blocs sont arrivés sans doute au sein de la masse étrangère.

Une dernière considération que nous présenterons ici pour achever de renverser le système des gypses ophitiques, c'est que dans la plupart des gîtes on trouve

des traces plus ou moins distinctes de stratification. A Bastennes, par exemple, qui est certes un des points où l'action sulfurante de l'ophite aurait dû être la plus énergique, on observe les blocs gypseux divisés en feuillets parallèles admirablement nets. Or, si le gypse provenait d'un banc calcaire sulfatisé, ces feuillets ni aucune stratification générale n'auraient été conservés. En effet, le calcaire a une densité égale à 2,7 et contient moyennement 56 p. 100 de chaux; le gypse a une densité égale à 2,3 et contient 33 p. 100 de chaux : il en résulte qu'un volume de calcaire soumis à la sulfatisation donne lieu à un volume double de gypse. Donc, pendant la transformation, il se produit dans la masse une dilatation énorme qui engendre nécessairement une pression telle que la masse entière doit devenir uniformément compacte, sans trace aucune de séparation entre des lits plus ou moins épais.

Nous concluons donc, pour terminer cet exposé du deuxième groupe des terrains crétacés, que :

1° Les gypses, le sel ou les sources salées et les marnes ou argiles colorées du bassin de l'Adour se rattachent à une même formation générale;

2° Cette formation, que nous appelons formation gypso-salifère de la craie, n'est autre que l'étage de la craie marneuse de Briscous, correspondant, dans le bassin de Paris, à l'étage de la craie sans silex.

### *Troisième étage des terrains crétacés.*

#### Craie silicifère.

Nous avons dit que le type le plus complet de l'étage de la craie silicifère était offert par les carrières de Tercis. Nous allons décrire cet important gisement.

Quand on descend l'Adour à partir de Dax, on aper-

çoit sur la rive gauche, dans les environs de Tercis, des escarpements calcaires très-puissants et presque verticaux. C'est ce qu'on nomme dans la contrée la Grande-Roque de Tercis. Les bancs ont exactement la direction O. 9° N., E. 9° S., c'est-à-dire forment un angle de 9° avec la direction pyrénéenne qui est, comme on sait, O. 18° N., E. 18° S. Le plongement a lieu au nord. Si l'on suit ces couches dans l'intérieur des terres, on les voit se poursuivre jusqu'à l'arête qui forme le faîte des vallées de l'Adour et du Luy, et on les retrouve ensuite; après une interruption de quelques centaines de mètres, sur la pente opposée descendant sur les rives du Luy et atteignant de nouveau la rive de l'Adour, à 2 kilomètres en aval de la Grande-Roque.

Si l'on étudie l'ensemble du massif, on remarque que les couches extrêmes de la Grande-Roque et du Vimport qui en forment les limites au nord-est et au sud-ouest sont presque verticales, mais plongent en sens contraires, et qu'en s'avançant de part et d'autre vers le centre du massif en suivant une voie perpendiculaire à la direction des couches, ces redressements d'inclinaison contraire tendent sensiblement vers une direction verticale commune et y arrivent complétement au contact des terrains argilo-marneux qui forment les marnières communales du Tuc.

Au nord-est de ce massif, vers la Grande-Roque, de nombreuses carrières exploitées pour les travaux de navigation de l'Adour et pour la fabrication de la chaux permettent d'étudier avec détail la succession des couches : les mêmes bancs traversant obliquement l'Adour se montrent à Angoumé dans des directions et avec une succession parfaitement identiques. Dans la partie sud-ouest, on peut aussi étudier cette formation dans les carrières de Lavigne et dans celles qui s'étendent entre

la Bagnère et le pont suspendu de Tercis sur le Luy.

Pour décrire méthodiquement ce gîte et faire ressortir les liens qui unissent l'étage gypso-salifère à celui dont nous nous occupons maintenant, plaçons-nous au Tuc des marnières, sur la tranche des marnes colorées qui montrent en ce lieu un de leurs affleurements les mieux caractérisés. En suivant une ligne perpendiculaire à la direction des bancs de marne vers le nord-est, on parcourt un espace assez grand sans voir d'affleurement calcaire et on rencontre un terrain bas correspondant à une érosion des terrains mous qui représentent la masse de l'étage gypso-salifère. En abordant le coteau sur la même direction, on trouve d'abord une carrière appelée Communale dans laquelle on exploite des bancs calcaires sans silex ; ces bancs ont une stratification mal définie : ils sont en partie disloqués et contournés et semblent avoir subi l'influence presque immédiate d'un agent éruptif ; on n'y trouve ni les silex, ni les fossiles, ni les pyrites qui caractérisent les bancs supérieurs que nous décrirons bientôt : la pierre est tachée de petits points noirs et présente de l'onctuosité au toucher.

Ce banc appartient évidemment à l'étage gypso-salifère dont il est le dernier terme. Tous ses caractères s'accordent avec ceux que l'on remarque dans les bancs compactes de la craie de Briscous, dans l'affleurement crétacé qui couronne le coteau qui s'élève entre Oraas et Carresse, et enfin dans les puissantes assises calcaires qui règnent depuis le bord du gave de Pau jusqu'aux coteaux du Salleix, sur le territoire des communes de Puyoo et de Bellocq, dans la direction de Salies.

Immédiatement à la suite du gîte que nous venons de décrire à Tercis, commence la formation silicifère. La première exploitation ouverte dans ce terrain est

connue sous le nom de carrière de la Fontaine ; le calcaire y a une texture dure qui passe à celle du grès : on y voit des couches à silex et des couches sans silex, parsemées de nombreuses taches vertes.

Dans la carrière suivante, la pierre est plus tendre et dépourvue de silex.

Vient ensuite la grande carrière, dite de *Vivant*, qui correspond exactement à celle qu'on exploite à Angoumé pour la fabrication de la chaux hydraulique. C'est une pierre bleuâtre, gelive, renfermant de nombreux nodules de silex et de pyrite de fer qui paraissent avoir remplacé la matière des fossiles. En quelques points la silification de ces nodules n'est pas complète : le centre seul est complétement siliceux, et les parties extérieures passent par degrés insensibles et par couches concentriques à la nature du calcaire qui les renferme. On peut recueillir des ananchites et autres fossiles entièrement convertis en silex ou en pyrite, et parfaitement reconnaissables. Les espèces fossiles les plus communes dans cette couche sont l'*Ostrea vesicularis*, la *Lima mantelli*, le *Pecten nitidus*, l'*Inoceramus Lamarsi* : de larges empreintes d'un poisson cténoïde, des os très-légers qui pourraient être rapportés à de grands reptiles, un nautile indéterminé et une espèce également nouvelle d'ammonite, caractéristique de cette couche, ornée de côtes saillantes et d'empreintes dendritiques très-complexes disposées en lobes et en selles.

La pierre de cette carrière étant convertie en chaux perd sa couleur bleuâtre, et devient au contraire jaune serin. C'est dans cet état qu'elle est livrée au commerce pour la fabrication des mortiers. Cette chaux étant la seule réputée hydraulique dans un rayon très-étendu, et étant transportée à Bayonne et jusqu'à Mont-de-

Marsan pour l'exécution des travaux publics, il était important de déterminer les conditions de son hydraulicité, mise en doute par un grand nombre de constructeurs qui l'ont employée. Il résulte des recherches et des expériences multipliées que nous avons faites à cet effet depuis un an, que la chaux jaune serin, telle qu'elle est ordinairement livrée au commerce, n'a que peu ou point de propriétés hydrauliques, et que ces propriétés ne sont déterminées que par une cuisson plus intense et plus prolongée, à la suite de laquelle la surface extérieure des blocs de chaux prend une couleur grisâtre qui revêt dans les cassures fraîches une couleur chloreuse. Cette chaux exige trente-six heures pour son extinction complète, et est éminemment hydraulique, tandis que la chaux jaune serin provenant de la même pierre s'éteint en quelques minutes, et présente les caractères d'une chaux grasse dépourvue d'hydraulicité. Ce n'est pas ici le lieu de s'étendre sur les causes de ce singulier résultat, dont l'authenticité et l'importance sont hors de doute et ont été confirmées par les expériences qu'ont faites, d'après nos indications, les ingénieurs du chemin de fer de Bordeaux à Bayonne. Les divergences d'opinion des constructeurs sur l'hydraulicité de cette chaux peuvent maintenant être facilement expliquées. Dans le mode de cuisson incomplète usité jusqu'à présent, la partie supérieure de la charge n'atteignait qu'au degré caractérisé par la couleur jaune serin, et n'était pas hydraulique, tandis que la partie inférieure était portée généralement au degré de cuisson nécessaire pour développer l'hydraulicité.

Le banc qui vient à la suite du banc hydraulique est à Tercis le siége de l'exploitation d'une carrière dite de la Pointe : à Angoumé le chemin de fer est ouvert en déblai à travers ce banc. C'est un calcaire peu coloré,

tendre, gelif, et passant insensiblement à la marne : il ne contient presque pas de silex; on y trouve de nombreux fossiles, principalement l'*Ananchites ovata*, le *Scaphites compressus* et deux grandes espèces d'ammonites.

Le banc qui suit immédiatement, et qu'on nomme la Grande-Roque, est remarquable par sa position au bord de l'Adour, où il plonge par sa base, et dont il forme une berge presque à pic s'élevant à plus de 20 mètres au-dessus du niveau de l'eau. Sa constitution est d'ailleurs tout à fait différente de celle des bancs précédents. La roche a une structure fine, compacte, dure, pesante, homogène, saccharoïde : elle a des couleurs d'un rouge plus ou moins intense, présente de nombreux plans de rupture qui font qu'exploitée à la poudre elle éclate et se divise en fragments de faible échantillon.

Les divers géologues et naturalistes qui ont exploré ce banc, et notamment M. le docteur Grateloup, dont les longues et consciencieuses recherches ont jeté les premières bases d'une bonne conchyliologie fossile de ce bassin, se sont accordés à proclamer l'absence complète de fossiles dans cette couche. Une observation soutenue nous y a fait découvrir un fossile intéressant répandu en divers points avec assez d'abondance pour permettre de caractériser cette couche. C'est une térébratule spéciale dont voici la description : sa longueur égale sa largeur, son épaisseur est peu inférieure aux autres dimensions. Sa surface offre une couleur rosée, et est souvent recouverte d'une mince enveloppe nacrée. Sa grosseur peut atteindre celle du bout du petit doigt; le plus souvent ses dimensions sont moindres. Son bord libre affecte la forme d'une courbe à double courbure qu'on pourrait considérer comme formée de

trois arcs de cercle à courbure inverse, tangents entre eux, l'arc du cercle médian correspondant au sinus de la valve dorsale, et ayant un rayon double de celui des arcs latéraux. La valve dorsale est plate, et son sinus large et peu profond : le trou circulaire occupe l'axe du crochet de la valve dorsale, et est nettement séparé du crochet de l'autre valve par un intervalle bien distinct. La valve ventrale est bombée, presque hémisphérique, un peu plus large que longue.

La surface des deux valves est ornée de plis nombreux, plus larges dans la partie centrale correspondant au sinus de la grande valve que dans les parties latérales : on compte douze à quatorze plis larges dans cette partie centrale, et environ autant de plis plus étroits dans chacune des parties latérales. Ces plis sont croisés transversalement par des lignes très-distinctes d'accroissement des valves.

Généralement cette térébratule se présente dans le banc dont nous nous occupons avec des formes extérieures bien conservées; mais son intérieur est une véritable géode ayant un vide en son centre et des parois tapissées de cristaux de carbonate de chaux.

Nous désignerons cette térébratule, dans la suite de cet écrit, sous le nom de *térébratule dolomitique;* on ne tardera pas à voir le motif de cette dénomination.

La roche à térébratule dolomitique traverse l'Adour et se montre sur le prolongement de la Grande-Roque, dans la commune d'Angoumé, où elle est exploitée pour l'entretien de la route impériale n° 10. Si maintenant on traverse tout le massif et qu'on se transporte à son extrémité dans la carrière de Lavigne, on y trouve un calcaire saccharoïde blanc et rosé sur quelques points, mais généralement noirci par de puissantes émanations bitumineuses. Il n'est pas douteux cependant que ce ne

soit le même banc que celui de la Grande-Roque : on y retrouve en effet la térébratule dolomitique avec tous les caractères que nous avons décrits; et ce banc, se prolongeant au nord à travers l'Adour, dans la commune de Rivière, et au sud vers le Luy, offre sur les divers points où il affleure tous les caractères minéralogiques déjà signalés pour la Grande-Roque de Tercis. Si nous considérons que, à part ce premier banc, tous les autres strates de la craie de Tercis sont formés d'un calcaire terreux, non cristallisé, toujours plus ou moins mélangé d'argile, et contenant le plus souvent des silex, nous serons conduits à faire dans cette craie une subdivision qui facilitera l'étude et l'exposé de ses propriétés et de ses rapports géologiques. Dans cette subdivision nous appellerons craie dolomitique celle dont nous venons de décrire le type dans la Grande-Roque de Tercis.

Si, revenant au tuc des marnières, nous entreprenons d'explorer le massif sud-ouest des carrières de Tercis, nous trouverons la même succession que nous avons constatée dans la partie nord-est. La plupart des bancs intermédiaires entre les marnières et la carrière dite de Lavigne sont inexploités, mais comme ils sont très-redressés, on voit leurs crêtes courir à la surface du sol et l'on peut apprécier leur direction, leurs diverses puissances et leurs inclinaisons.

Quant à la carrière de Lavigne elle-même nous y reviendrons tout à l'heure avec détail et nous montrerons qu'elle est un représentant important de la subdivision dolomitique. Complétons en ce moment ce que nous avons à dire sur la craie silicifère proprement dite.

Donnons d'abord quelques détails sur les fossiles qui caractérisent ces roches dans les carrières de Tercis. Indépendamment de ceux que nous avons déjà men-

tionnés, voici la liste de ceux qu'on y trouve le plus fréquemment :

| | |
|---|---|
| *Ananchites ovata.* | *Ananchites gibbus.* |
| — *semi-globus.* | *Galerites vulgaris.* |
| — *conica.* | *Tragos pisiformis.* |
| — *striata.* | *Scaphites æqualis.* |
| *Spatangus retusus.* | *Pecten cretosus.* |
| — *pyriformis.* | *Inoceramus Cuvierii.* |
| *Ananchites carenata.* | *Terebratula octoplicata.* |
| — *conoidea.* | |

Trois espèces nouvelles de térébratules.
Quatre espèces inédites d'ammonites.

Nous ne devons pas clore cette nomenclature sans mentionner un nautile abondamment répandu dans ces roches sur les points en exploitation aux bords du Luy, au-dessous de l'établissement des bains de Tercis. Généralement ce fossile est assez maltraité et paraît avoir été longtemps roulé sur les grèves après sa pétrification. Mais il offre l'intéressante propriété de se diviser selon les plans des cloisons et de laisser voir les formes de ces cloisons et de leur ligne de contact avec les parois du têt, ainsi que la position du siphon. Le siphon est exactement central, les spires sont embrassantes, les lignes des cloisons légèrement flexueuses, le têt extérieur marqué de plis transversaux.

Le terrain que nous venons d'étudier à Tercis se montre ailleurs en un grand nombre de points. Les principaux gisements sont les suivants : Carrière de Labadie à Pouillon, caractérisée par la nature minéralogique de la roche, la présence des silex et l'abondance des *Ananchites semi-globus* et *conoidea* caractéristiques de la craie silicifère de Tercis; carrières de Cornaillés et du Château, dans la commune de Biaudos, sur la rive droite de l'Adour, à moitié distance de Peyrehorade à Bayonne. Les couches de ces carrières contiennent des silex avec abondance ; Pouy d'Euze, près de Dax; coteau de Gaujacq, près du château; Brassem-

pouy; environs de Saint-Sever; au sud de Biaritz; commune d'Urcuit, entre la saline et l'Adour; crête du coteau de Carresse, sur le chemin nouvellement ouvert entre Carresse et Oraas; commune de Bastennes, près du gisement des arragonites, etc.

On remarque généralement dans le voisinage de cette formation des amas plus ou moins puissants de silex qui en annoncent la présence ou l'approche. On peut constater dans les carrières de Tercis et d'Angoumé que la surface du terrain est partout composée de rognons et de fragments de silex d'une manière, pour ainsi dire, exclusive. De plus, la surface générale du terrain a été évidemment corrodée très-puissamment : les bancs dolomitiques de la Grande et de la Petite-Roque, dont la nature résiste aux intempéries atmosphériques, en offraient le témoignage irrécusable, car ils s'élevaient l'un et l'autre de plus de 10 mètres au-dessus des couches voisines avant d'avoir été écrêtés par le service de la navigation, écrêtement qui n'a eu lieu que depuis trois ou quatre ans à la Petite-Roque pour l'ouverture du chemin de hallage, et depuis l'an dernier pour la Grande-Roque. Il est donc hors de doute que les couches de craie non dolomitique ont été énergiquement altérées par les agents atmosphériques jusqu'à ce que les silex contenus dans leur masse s'accumulant à leur surface y aient formé une sorte de toit qui a mis ces rochers à l'abri de l'action des pluies et des gelées.

On ne sera donc pas étonné de voir en quelques endroits ces craies exclusivement représentées à la surface par des amas de silex; c'est ce qui arrive à Bastennes, entre Saint-Sever et le pouy de Montsouer, et en divers autres lieux. Il est certain qu'au-dessous de ces couches superficielles on retrouve toujours la formation crétacée avec l'intégrité de ses caractères.

**Craie dolomitique.**

Nous affectons cette désignation à la formation dont la grande roque de Tercis nous a offert le type et dont nous avons ci-dessus décrit les caractères distinctifs et notamment la térébratule spéciale qui la distingue des autres roches du bassin pyrénéen. Cette formation joue un grand rôle dans la contrée voisine de Saint-Sever et a été mentionnée par quelques observateurs sous le nom de dolomie.

Les divers affleurements de cette roche ont jusqu'à présent donné lieu aux appréciations les plus divergentes : quelques géologues les avaient rapportés au calcaire jurassique, d'autres aux terrains tertiaires; plusieurs avaient pensé que l'action métamorphique ayant joué dans sa production un rôle prédominant, la matière de cette roche pouvait appartenir à tous les terrains et que par conséquent ce serait peine perdue de rechercher ses relations de stratification. Quelques-uns enfin s'approchant un peu plus de la vérité avaient cru apercevoir d'une manière confuse que ces terrains étaient d'un âge intermédiaire entre la craie et le nummulitique, sans pouvoir assigner toutefois s'ils dépendaient de l'un ou de l'autre, ou s'ils étaient à la fois indépendants de ces deux puissants étages.

Au moment où nous avons entrepris nos recherches, cette question restait une des plus difficiles de la géologie de cette contrée : nous croyons l'avoir complétement résolue.

L'étude du gisement de Tercis nous a montré cette roche formant la partie supérieure de la formation crétacée en stratification parfaitement concordante avec elle. Ajoutons qu'elle est séparée des roches calcaires de la formation nummulitique, dont nous retrouverons les affleurements vers l'amont de l'Adour, dans les

communes de Tercis et d'Angoumé, par une formation d'argiles constituant l'étage inférieur de cette formation. Ajoutons enfin que, pour définir plus complétement cette formation et confirmer la solution que nous venons d'indiquer, nous avons trouvé de nouveaux éléments dans l'assimilation des bancs de Lavigne avec ceux de la Grande-Roque; assimilation indiquée d'abord, comme on l'a dit, par l'allure générale du terrain qui présente le caractère d'une dislocation géologique, par le parallélisme de ces roches et leur plongement inverse; confirmée par la découverte de la térébratule dolomitique dans ces deux carrières, et mise enfin hors de doute par la constatation de l'identité des caractères physiques entre la pierre de la Grande-Roque et celle qui forme le prolongement des bancs de la carrière de Lavigne dans la commune de Rivière et vers la Bagnère-de-Tercis.

En effet, certaines parties de la carrière de Lavigne contiennent des fossiles en grande abondance. On y distingue, outre la térébratule que nous avons décrite, la *terebratula octoplicata*, une petite térébratule à côtes très-caractérisée, et trois autres espèces indéterminées; on y trouve aussi les *cidarites crenularis* et *variolaris*, ainsi qu'un amas très-considérable de piquants d'oursins et de cidaris dont quelques-uns sont très-volumineux. Nous citerons encore deux espèces de rudistes dont une se rapprochant de l'*hippurites organisans* et un polypier du genre *perosmilia*, d'Orb.

Nous avons ainsi plusieurs caractères paléontologiques pour déterminer l'horizon dolomitique.

Avant de quitter la carrière de Lavigne, remarquons que l'extrémité de son prolongement vers le sud-est est marquée par les sources thermales sulfureuses de la Bagnère-de-Tercis, et son extrémité nord-ouest par les

sources également thermales et sulfureuses de Saubusse sur l'autre rive de l'Adour.

On connaît aujourd'hui dans la Chalosse un nombre considérable de gîtes de craie dolomitique. Nous dirons quelques mots sur chacun des principaux.

La promenade des Baignots à Dax montre à sa surface, et surtout sur la berge qui longe l'Adour, un calcaire identique d'aspect à celui de la grande Roque de Tercis. Nous n'avons pas pu y découvrir de fossiles, mais l'identité des caractères physiques est tellement frappante qu'on ne peut se refuser à admettre une complète assimilation. En quelques points, la roche calcaire cristalline devient complétement siliceuse, fait qu'on remarque aussi dans le prolongement du banc dolomitique de Lavigne sur la rive droite de l'Adour. La position stratigraphique de cette roche justifie d'ailleurs son assimilation à la dolomie de Tercis. Le soulèvement ophitique du Pouy-d'Euse qui lui est contigu est parallèle à celui de Tercis : il y a lieu de penser qu'ils se rattachent à une même éruption s'exerçant sur deux lignes de fracture parallèles. A Tercis, on voit s'appuyant sur l'ophite, d'abord les marnes colorées, puis les calcaires formant le groupe que nous désignons sous le nom de calcaire silicifère, puis enfin le calcaire dolomitique. Au Pouy-d'Euse, on retrouve d'abord les marnes colorées, puis des calcaires très-chargés de talc, visibles sur la pente ouest du coteau dans la carrière de Bidan, puis enfin le calcaire dolomitique mis à nu au pied de la pente orientale du coteau par les érosions des eaux de l'Adour. Les fouilles effectuées pour la fondation du pont de Dax, à 1 kilomètre de distance du Pouy-d'Euse ont démontré la présence d'une roche tendre nummulitique à 4 mètres environ au-dessous de l'étiage, plongeant rapidement sous le lit de la rivière et

se relevant sur le monticule ophitique, en recouvrement sur le calcaire de Baignots. Enfin, pour compléter l'assimilation avec Tercis, les sources thermales de Dax et les sources sulfureuses des Baignots sortent des crevasses du banc dolomitique, et nous en avons découvert deux nouvelles dans la fondation de la culée du pont de Dax.

Nous retrouvons la roche dolomitique sur un grand nombre de points. Aux abords de Donzacq dans la carrière dite de Cantaou, elle se montre en blocs considérables. Ici, comme à Dax et à Tercis, nous avons lieu de remarquer qu'elle se trouve liée à un phénomène de production d'une source thermale sulfureuse. Les eaux thermales de Donzacq sourdent en effet au pied du coteau où l'on observe les principaux affleurements de la roche dolomitique.

Mais c'est surtout dans les environs de Saint-Sever que cette formation acquiert sa plus grande importance. Le plus beau type de cette formation est dans la carrière nouvelle ouverte auprès d'Audignon pour le service de la route de Saint-Sever à Orthez (1). Le gisement du calcaire a absolument l'aspect d'un banc puissant, brisé de toutes parts, et dont les blocs ont été soulevés pêle-mêle au-dessus de leur ancien niveau. Aussi, l'extraction ne s'accomplit pas régulièrement et suivant une orientation déterminée; au contraire, les blocs sont isolés les uns des autres, et occupent toutes sortes de positions dans la masse sableuse où ils sont enclavés. Leurs arêtes sont souvent vives et tranchantes : leurs surfaces sont parfaitement nettes et correspondent aux

(1) Nous devons la connaissance de cette carrière et des suivantes à l'obligeance de M. Schellinx, ingénieur des ponts et chaussées à Saint-Sever, qui a bien voulu nous guider lui-même dans la plupart de ces excursions.

anciens plans de stratification. L'intérieur de chaque bloc est d'àilleurs très-compacte : le calcaire a un grain fin et doux. On y observe de gracieuses nuances rose, vert et jaune pâle, qui donnent aux morceaux polis l'aspect agréable de marbres. On a même essayé d'en utiliser les blocs de cette manière. Mais le marbre ainsi obtenu n'a pas assez de dureté, et n'offre pas des colorations assez tranchées pour une large surface. Aussi se borne-t-on à employer cette pierre pour ferrer les routes et pour quelques constructions.

On n'observe pas de silex dans le calcaire, mais la nature des terrains environnants ne permet pas de le rapporter à une autre formation qu'à celle de la craie. Il renferme des particules siliceuses qui font feu sous le coup du pic.

En suivant la route de Coudures à Saint-Sever, on trouve les carrières suivantes, plus ou moins rapprochées du bord du chemin, ouvertes dans des calcaires analogues à celui d'Audignon.

Dans la carrière de la Bonne, les couches sont brisées comme dans la carrière nouvelle d'Audignon. Les blocs renferment des cristallisations spathiques remarquables. Certains fragments sont tellement siliceux qu'ils passent à l'état de véritables grès.

La carrière de M. Cadillon montre également le calcaire dolomitique de la formation crétacée.

On le retrouve dans tous les coteaux qui bordent le cours du Gabas, en amont et en aval du petit pont du moulin, sur une longueur de plusieurs kilomètres. Un grand nombre d'extractions sont pratiquées au pied de ces coteaux. La dolomie s'appuie comme à Tercis sur les couches supérieures de la craie silicifère. L'orientation des couches est assez variable, mais se rapproche en moyenne de la direction E.-O. avec plongement au

nord. Les crêtes des coteaux voisins offrent à leur surface des amas de silex qui complètent l'assimilation de ces terrains avec ceux de Tercis et d'Angoumé, qui nous ont offert le type de la formation dont nous nous occupons.

Sur la route d'Orthez, à quelques kilomètres de Saint-Sever, on remarque que les talus sont pratiqués dans le calcaire de la craie, qui fait saillie, de $0^{m}.50$ à 1 mètre de hauteur, des deux côtés de la route. Les alternances de couches avec silex et de couches sans silex apparaissent dans toute leur netteté, et ces couches sont finalement recouvertes par des affleurements dolomitiques.

Sur la route de Mugron à Saint-Sever, au coteau d'Arcet, on voit un magnifique massif dolomitique. Plusieurs coteaux voisins sont également composés de la même roche, qui en cette région constitue le véritable horizon géologique. Les carrières ouvertes sur le bord de la route permettent d'examiner avec soin cette formation importante. Il est difficile de déterminer la stratification. Elle paraît être N. 30° O.-S. 30° E. avec plongements à l'E.-N.E. La pierre est très-compacte et de couleur rosée. Plusieurs géodes sont remplis de cristallisations spathiques avec rhomboèdre métastatique fréquent. On ne retrouve pas de silex dans la masse, et tous les caractères physiques et minéralogiques s'accordent pour démontrer l'identité de cette roche avec la dolomiede Tercis. Nous avons été assez heureux pour découvrir dans cette carrière où l'on ne connaissait pas de fossiles, deux échantillons très-nets de la térébratule dolomitique, caractéristique de la dolomie de Tercis.

Tous les faits précités nous démontrent donc que toutes les roches du bassin, désignées spécialement sous le nom de dolomies par les géologues qui ont exploré le pays, et présentant les caractères de dureté, de cristallisation et de coloration que nous avons décrits, ap-

partiennent à une formation géologique très-nette qui constitue le dernier terme de la craie silicifère ou supérieure. C'est donc par erreur que certains géologues ont voulu faire rentrer ces roches, au moins en partie, dans la formation nummulitique.

Une erreur plus grave consiste dans une opinion assez répandue qui refuserait à cette partie de la formation crétacée le caractère stratigraphique régulier que nous avons été conduits à lui assigner, et qui voudrait en faire un pur accident de métamorphisme produit par des actions ignées sur une partie quelconque de la formation crétacée ou de tout autre terrain calcaire. Nous croyons avoir suffisamment démontré l'erreur de cette opinion en constatant la position constante de cette roche entre le terrain nummulitique et le banc supérieur de la craie silicifère, l'absence constante de silex dans sa masse, la présence de fossiles caractéristiques et une incontestable réunion de caractères physiques et minéralogiques, incompatibles avec la diversité primordiale qu'on voudrait assigner aux roches qui présentent cet ensemble de caractères. Ajoutons un fait capital qui couronne cette démonstration : partout où l'ophite paraît au jour, il montre des effets de métamorphisme qui agissent directement sur les roches selon leur nature primitive ; c'est ainsi qu'à Arzet, à Bastennes et à Gaujacq les assises calcaires des fahluns bleus ont été converties en un marbre noir d'une texture et d'un aspect très-caractérisés et parfaitement distincts de ceux des roches de Tercis, d'Audignon, d'Arzet, etc., qui appartiennent à l'étage stratigraphique supérieur de la formation crétacée. De plus, les roches de la craie silicifère et celle de la craie gypso-salifère sont toujours dans un plus grand voisinage de l'éruption ophitique que les couches dolomitiques elles-mêmes. Si donc on

ne voulait voir dans ces dernières couches qu'un effet de métamorphisme dû à l'action ignée, comment expliquerait-on que ces effets ne se soient pas produits dans un voisinage plus immédiat de cette action et aient épargné les craies silicifères et les craies marneuses à Tercis, à Dax, à Bastennes et dans tous les lieux où l'on voit constamment ces couches interposées présenter des caractères métamorphiques tout à fait distincts de ceux de l'étage qui nous occupe.

Il y a peut-être dans cette appréciation erronée une cause qui tient jusqu'à un certain point à une confusion de langage. On a peine à s'imaginer que la dolomie puisse exister sans une action métamorphique, et on attribue volontiers à cette action un effet qui masque tous les autres et qui offre le moyen de substituer à l'étude de la position stratigraphique régulière des terrains une explication vague qui dispense de cette étude. Nous ferons observer à ce sujet que ce nom de dolomie, conservé ici pour nous conformer aux traditions admises par les géologues qui ont étudié le bassin pyrénéen, et pour ne pas mettre de nouveaux noms à la place de ceux que l'usage a consacrés, n'a dans notre esprit qu'une signification purement géologique et indépendante de la composition chimique et plus ou moins magnésienne de la roche.

Nous ne pensons pas d'ailleurs, d'après tout ce qui précède, que la présence de la magnésie dans cette couche soit due à l'action de l'ophite; nous présumons au contraire que la roche a été formée dès l'origine par voie sédimentaire, sous l'influence de conditions favorables au développement magnésien, ainsi qu'on l'admet généralement pour les dolomies de la série oolitique qui apparaissent avec une grande puissance dans les Alpes, la Pologne, la Dalmatie et en plusieurs

autres points du globe. Notre point de vue, en cette matière, est semblable à celui que nous avons adopté pour expliquer l'origine des gypses du bassin que nous étudions.

On nous objectera la généralité des émanations magnésiennes dont sont imprégnés tous les terrains qui avoisinent l'ophite, et on nous demandera pourquoi la couche dont il s'agit aurait plus que les autres échappé à cette action.

Nous croyons qu'il peut être répondu à ces objections :

1° Que cette couche est plus éloignée des éruptions ophitiques que celles où se revèle avec tant d'abondance l'élément magnésien à l'état de talc ;

2° Que la plus grande dureté de cette couche a dû, indépendamment de sa distance du centre éruptif, s'opposer à l'introduction de cet élément ;

3° Qu'il serait bien remarquable que, tandis que la magnésie provenant de l'éruption ophitique s'est répandue abondamment à l'état de talc dans les terrains tendres avoisinant cette éruption et n'a pas imprégné la masse interne des roches dures placées dans ce voisinage, elle se fût introduite à l'état de carbonate dans les roches dures qui nous occupent, et, en même temps n'eût imprégné que peu ou point, et, en tous cas, à l'état de talc, les terres qui enveloppent ces roches et les lits de carrières qui divisent leurs strates.

Pour développer convenablement ce dernier argument, nous sommes amenés à donner quelques détails sur la manière dont se montrent généralement les phénomènes magnésiens dans le voisinage de l'ophite.

Si l'on descend le coteau qui, de la route de Donzacq, conduit à l'éruption ophitique voisine des bituminières de Bastennes, on remarque que le fond des petits cours d'eau qui parcourent en minces filets les lignes de plus

grande pente de ce coteau, est couvert d'une matière savonneuse tantôt réduite en limon, tantôt ayant la forme de petits galets de la grosseur d'une amande. Si l'on écrase cette matière entre les doigts, on reconnaît qu'elle est éminemment glissante, onctueuse et présente les caractères irrécusables du talc.

Semblablement au Pouy-d'Euze, près de Dax, qui est soulevé par l'ophite, des carrières ouvertes sur les deux flancs du coteau offrent la matière éruptive en contact avec des bancs de calcaire qui ont conservé leur texture tendre et crétacée et sont presque entièrement passés à l'état de talc. La même chose se remarque au Pouy-d'Arzet dans les marnes à travers lesquelles l'ophite s'est fait jour, et dans tous les lieux où cette matière éruptive vient affleurer. Partout, on voit les marnes et les calcaires tendres les plus voisins du centre d'éruption fortement imprégnés de magnésie talqueuse et conservant néanmoins les caractères primitifs de leur texture amorphe et nullement cristalline.

Ce fait général distingue essentiellement des strates dolomitiques les couches tendres de craie et de marne magnésiennes qu'on observe dans le voisinage de l'ophite.

Remarquons enfin que l'influence magnésienne de l'ophite est en harmonie avec la constitution de cette roche qui est imprégnée de matière talqueuse. Il suffit pour s'en convaincre de pétrir entre les doigts de l'ophite décomposé : on lui reconnaît cette onctuosité inhérente aux substances fortement magnésiennes. C'est particulièrement frappant lorsque les travaux des carrières ou des marnières mettent à découvert des filons d'ophite intercalés dans les matières environnantes et ayant un commencement de décomposition : alors les parois de ces petits filons sont au toucher d'une onctuosité extrême et communiquent cette propriété aux terres et

aux roches en contact avec eux. En un mot, l'élément magnésien se présente à un état et dans des conditions toutes différentes dans les bancs du calcaire dolomitique et dans les couches plus ou moins tendres pénétrées mécaniquement par l'ophite. Pour les uns c'est une circonstance générale, où le carbonate de magnésie apparaît indépendamment de toute influence de l'ophite : pour les autres, c'est un accident local qui accompagne exclusivement les épanchements de la matière éruptive.

En résumant les faits que nous avons discutés et établis ci-dessus relativement à l'ensemble de la formation crétacée dans le bassin pyrénéen, nous sommes donc conduits à signaler la succession de trois formations principales distinctes entre elles, mais généralement d'ailleurs concordantes de stratification, savoir, en partant des couches supérieures :

| | |
|---|---|
| Craie silicifère.... | Couches dolomitiques.<br>Craie silicifère proprement dite. |
| Craie gypso-salifère. | Couches calcaires sans silex.<br>Marnes et argiles irisées.<br>Marnes gypso-salifères. |
| Grès vert. . . . . | Calcaire de Bidache. |

Il nous resterait à couronner cette série par la description des terrains nummulitiques qui doivent se placer en tête de la formation crétacée; mais ces terrains ayant une importance très-considérable dans le bassin et des caractères particuliers qui les distinguent nettement de l'ensemble de la formation, nous leur consacrerons une étude à part qui fera l'objet d'une division spéciale de notre travail.

Nous terminerons cette première partie en donnant (Pl. IV) quelques coupes géologiques destinées à offrir des exemples de la relation de position des couches que nous venons d'étudier.

# NOTE

SUR LES MINES AURIFÈRES DE SAINT-LAURENT SITUÉES DANS LE BAS-CANADA (DISTRICT DE QUÉBEC).

Par M. de ROTTERMUND, chef d'exploitation de ces mines.

Le Canada me paraît devoir offrir sous le rapport scientifique un sujet d'études des plus intéressants. Habitant ce pays depuis plusieurs années, j'ai eu occasion de le connaître et de l'examiner très-particulièrement dans plusieurs de ses parties.

J'ai eu l'avantage que j'apprécie par-dessus tout de faire mes études à Paris et d'avoir pour professeurs quelques-uns de ces hommes dont la France s'enorgueillit à bon droit; qu'ils me permettent de leur offrir ce résultat quelque imparfait qu'il soit de quelques-unes de mes observations personnelles; si je puis par là appeler leur attention sur le Canada, je serai satisfait, car j'ai la conviction qu'on trouverait là un vaste champ d'observations à peine exploré, tant pour la géologie que pour la minéralogie.

L'or se rencontre dans du sable, de la terre glaise, du schiste, dans le granite décomposé, dans la pegmatite, dans le gneïss, dans les veines du quartz et uni avec des pyrites de fer.

Dans le sable, l'or se trouve en pépites de différentes grosseurs; ce sable est toujours noir, rempli de fer titanifère, de rubis, de corindon, de quartzite et de quartz. Plus il y a de quartz blanc laiteux avec des taches jaunâtres de forme tuberculaire, plus la quantité

d'or est grande ; plus ces tubercules sont volumineux, plus les pépites le sont aussi.

La terre glaise qui contient l'or est d'un gris bleuâtre, quelquefois blanchâtre. L'or y est à l'état de perlettes ou de petits grains, il est très-pur étant seulement accompagné d'une petite quantité d'argent.

Dans les schistes, on trouve l'or en poussière, en paillettes et en grains qui ont jusqu'à plusieurs centimètres cubes.

Quelquefois aussi l'or se trouve en morceaux très-volumineux surtout dans le voisinage des veines de quartz.

Le schiste aurifère est tantôt talqueux (talcschyst), tantôt argileux et la plupart du temps à l'état cristallin d'une couleur qui varie du bleu noir au gris cendré. Le schiste bleu contient l'or plus pur surtout quand la stratification court entre N.-E. et E. à S.-O. et O., et est inclinée au sud, dans ce cas aussi l'or est plus abondant. Dans les couches de schiste inclinées vers le nord, l'or disparaît et ne se montre plus que dans les pyrites de cuivre et en très-petite quantité.

Jusqu'à présent, je n'ai pas trouvé d'or pur dans les schistes dont la stratification est inclinée au nord.

Les couches du schiste sont traversées par des veines de quartz dont l'épaisseur varie de 2 à 4 millimètres jusqu'à 30 à 60 centimètres.

L'or est surtout abondant dans ces veines quand elles sont puissantes et d'un blanc opalin tacheté de jaune brun de différentes nuances et contenant des rognons d'oxyde de fer, de chlorite talqueux et une matière d'un aspect talco-micacé.

Le schiste contient l'or dans des fentes et entre ses feuillets. Ce schiste contient des taches de différents oxydes de fer qui paraissent être les traces des courants

électro-magnétiques. Elles sont souvent remplies de perlettes d'or pur accompagné de sable excessivement fin, de rubis, d'oxyde de titane, de grenats; en brisant un feuillet de ce schiste on y découvre quelquefois un nid de pyrites de fer aurifères.

Ces schistes contiennent de gros morceaux ou blocs (bouders) de syénite, de porphyre et d'autres roches en décomposition remplies de paillettes et de grains d'or.

Le schiste est quelquefois grisâtre et contient beaucoup de corindons.

La stratification de ces schistes est accompagnée de veines de grès sablonneux très-durs ainsi que de veines de quartz et j'y ai trouvé l'or mêlé à de petites feuilles de platine, surtout dans le voisinage de roches serpentineuses.

J'ai remarqué que l'or se trouve aussi en abondance dans le schiste qui contient le jaspe, les roches serpentineuses et des espèces de porphyre en décomposition, lorsque la serpentine est presque une roche magnésienne et que l'orthose et la hornblende du porphyre se désagrégent facilement.

Les pyrites de fer aurifères se trouvent dans le schiste bleu et dans le schiste en décomposition presque à l'état de glaise, là où se trouvent aussi en abondance des corindons, du quartzite de différentes couleurs, du jaspe, différentes espèces d'oxydes de titane et du sable noir.

Les cours d'eau qui contiennent l'or charrient une grande quantité de blocs de grès, de jaspe, de quartz, de serpentine, des roches porphyriques, quoique toutes les montagnes qui les environnent possèdent la stratification continue du schiste.

J'ai encore trouvé de l'or dans des vallons, au fond et sur les bords des cours d'eau, soit à plus de 200 pieds

des lits, soit à quelques pieds de profondeur, de même que sur des montagnes, tant à la base qu'à plusieurs centaines de pieds de hauteur, surtout dans la proximité des déplacements de roches.

M. Péligot a eu l'obligeance de me communiquer les résultats suivants des analyses qu'il a faites de différents échantillons d'or que je lui ai soumis :

| | PÉPITES | |
|---|---|---|
| | petites. | plus grosses. |
| Or | 873 | 860 |
| Argent | 127 | 140 |
| | 1000 | 1000 |

Dans mon voyage j'ai remarqué des formations qui présentent les phénomènes les plus remarquables surtout sous le rapport des mines : la présence des métaux dans ces mines est due suivant moi, non à l'action volcanique de la condensation des vapeurs, ni à celle de la décomposition chimique, comme dans plusieurs autres mines, mais uniquement à l'action de courants électro-magnétiques.

Je n'ai pas suivi dans mes recherches la classification, fondée sur les fossiles qui indique certaine priorité de formation des couches les unes sur les autres, car mon but a été uniquement la recherche des métaux.

Je dois signaler seulement que les terrains désignés plus haut comme aurifères appartiennent à la formation silurienne.

Voici l'idée qui m'a guidé dans la recherche des métaux.

Ayant rencontré des formations de roches de même nature, mais dans différents états de décomposition graduelle, j'ai pensé à classer ces roches suivant leur état moléculaire.

Ainsi le granite, la protogyne, la pegmatite, le gneiss sont tous composés d'orthose, de mica et de quartz.

En partant du granite on voit que la décomposition commence par l'altération du mica qui forme la protogyne, plus tard la pegmatite, et on voit que dans le gneiss, l'orthose, le mica et le quartz finissent par se trouver à l'état lamellaire. C'est dans cette période de transition que je trouve la plus grande abondance des différents métaux. Puis, lorsque le quartz disparaît presque complétement et que l'orthose redevient en partie cristallisé, les métaux disparaissent eux-mêmes pour reparaître plus abondants au moment où le mica à l'état lamelleux s'unit au quartz provenant de la décomposition de l'orthose, c'est-à-dire dans le micaschiste.

Ce fait constaté, j'ai admis l'action des fluides électro-magnétiques qui agissent partout et toujours, l'un suivant le méridien et l'autre, qui lui est perpendiculaire, suivant la direction et en sens inverse de la rotation de la terre, de sorte que ces deux fluides ayant toujours respectivement la même direction, l'un du sud au nord, l'autre de l'est à l'ouest, les métaux ne peuvent que suivre cette direction constante et suivant leur état de puissance électro-magnétique.

Je détermine l'intersection des deux courants et j'ai le point par lequel les métaux doivent passer en supposant le globe terrestre parfaitement homogène. Mais comme la direction des courants est déviée par la direction des chaînes de montagne et des formations douées de conductibilités différentes, la position des gîtes doit varier.

Pour me rendre compte de la force du courant et de sa direction, je remarque que la terre une fois mise en mouvement, les courants des fluides se sont spontané-

ment produits et il a dû en outre se produire un arrangement moléculaire des différentes matières suivant leur affinité pour l'un ou l'autre fluide. La croûte du globe a donc dû offrir différentes résistances à la force expansive des vapeurs venant du centre de la terre, de là la production des soulèvements des montagnes à une même époque suivant une même direction et presque dans la même formation.

Ainsi les montagnes aurifères de la Californie, de l'Australie, du Mexique, du Canada, l'Oural, qui coupent du nord au sud avec une très-petite variation en sont des exemples frappants.

La petite différence qui existe dans la déviation à certaines places doit être due à la formation préalable d'agents plus ou moins puissants qui facilitaient l'action des courants des fluides (comme le calcaire, les roches serpentineuses) et qui, par conséquent, opposaient diverses sortes de résistances par leur état différent de cohésion et d'élasticité.

Il me semble qu'on pourrait assigner les époques de soulèvements des chaînes de montagnes d'après la longueur des faîtes suivant la même direction. De telle sorte que les plus anciens doivent être les plus longs dans la même direction, car la formation de la croûte a dû être plus homogène.

Plus tard les courants des fluides étant interceptés ou ayant changé de nature, la composition des roches est devenue différente par places et par conséquent a opposé différentes résistances à l'expansion des vapeurs.

Les directions des chaînes de montagnes ont donc dû prendre la plus courte distance, ou produire des variations très-sensibles dans leur hauteur.

Je prends donc en considération le volume et la longueur des faîtes des chaînes de montagnes comme étant

un indice et une mesure en quelque sorte de la force du courant, ensuite la nature actuelle des conducteurs, c'est-à-dire, si c'est le schiste, le calcaire ou la serpentine, etc., qui forment la montagne, et je prends la résultante de la force suivant la direction de laquelle les métaux doivent se suivre.

Les grands blocs erratiques ne me semblent pas, dans le cas le plus général, dûs à des mouvements de glaces, mais à des séparations de la masse où ils reposent actuellement qui ont dû avoir lieu à différentes époques et périodes de la décomposition des roches.

Ces blocs peuvent servir plus comme indices de la nature des roches à l'époque de leur séparation. Ayant été séparés de la masse et par conséquent de l'action puissante des courants électro-magnétiques, par des tremblements de terre, des soulèvements ou d'autres actions physiquse, ces blocs ont conservé leur composition primitive, ou du moins leur décomposition subit plutôt les influences atmosphériques que celles du courant général des fluides.

La quantité des différentes espèces de blocs et traces de pierres dans le même endroit, au milieu de la formation continue, m'a suggéré cette supposition.

J'ai remarqué de plus que tel métal est toujours plus abondant dans certaines circonstances que dans d'autres.

J'admets que les révolutions du globe sont produites par l'action expansive des vapeurs intérieures, qui doit ainsi déterminer les directions principales des montagnes, et par les tremblements de terre ou tous autres accidents physiques qui rompent la direction des courants électro-magnétiques. De là a du résulter la production de différentes combinaisons des matières rocheuses, les courants agissant sous différentes direc-

tions et sur différents conducteurs n'ayant pu que produire l'élaboration de différentes espèces de fluides qui attirent et combinent différemment les métaux et leurs oxydes.

Aussi je n'ai pas rencontré jusqu'à présent l'or dans d'autres stratifications que celles qui ont leur inclinaison vers le sud et leur direction entre N.-N.-E. et E. et S.-S.-O. et O., les montagnes se dirigeant du nord au sud.

---

# RAPPORT

A S. EXC. M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS, SUR LA MACHINE A AIR CHAUD ENVOYÉE AU HAVRE PAR LE CAPITAINE ERICSSON.

Par M. COMBES.
Inspecteur général, professeur à l'École des mines.

La machine à air chaud, expédiée au Havre et placée dans les ateliers de MM. Mazeline frères, est, à ce qu'il paraît, une des plus anciennes qui ait été construite en Amérique, où elle aurait servi, dans l'origine, à mouvoir des presses d'imprimerie. Elle diffère un peu de celle que M. Gauldrée-Boileau a décrite dans la note insérée au t. II, 5$^e$ série, p. 453, des *Annales des mines.*

Les dispositions essentielles en sont représentées sur la Pl. V. La *fig.* 1 est une section verticale passant par l'axe commun du cylindre *travaillant* AA et du cylindre *alimentaire* BB, par le milieu de la grille G, du paquet de toiles métalliques R, appelé par Ericsson le *régénérateur*, et par l'axe de la cheminée C. La *fig.* 2 est une section verticale par un plan perpendiculaire à celui de la *fig.* 1, passant par le milieu de la boîte contenant le régénérateur R, les axes des soupapes d'admission et d'émission de l'air $S_1$ et $S_2$, et l'axe du tuyau T, qui met en communication la partie supérieure du cylindre alimentaire avec le réservoir d'air comprimé DD et le compartiment supérieur de la boîte du régénérateur. On a représenté, en projection sur le même plan, la plupart des autres parties de la machine et figuré une section partielle du cylindre alimentaire et de son piston. La *fig.* 3 est une projection horizontale sur un

plan supérieur à la grille G, avec une section partielle du régénérateur et de la boîte qui le renferme. La *fig.* 4 est un plan, en grandeur naturelle, de l'une des toiles métalliques qui composent le régénérateur. Le cylindre travaillant AA est ouvert à sa partie supérieure; il est installé directement au-dessus de la grille G, et posé sur le réservoir d'air comprimé DD, dont la forme est celle d'un parallélipipède à base carrée avec une échancrure cylindrique, ayant pour base un arc de cercle, dans laquelle sont placées la grille G et la partie horizontale de la cheminée CC. Avant de s'écouler, les produits gazeux de la combustion circulent autour de la partie inférieure du cylindre AA, dans un carneau annulaire représenté *fig.* 1.

Le cylindre alimentaire BB, ouvert inférieurement, est supporté par des colonnes, non représentées dans les figures, et qui reposent sur les bords du cylindre travaillant. Les axes de ces cylindres sont sur une même ligne droite verticale; leurs pistons PP et Q reliés par des colonnes rigides *tt*. Au-dessous du piston travaillant PP est une sorte de coffre en fonte MM, rempli d'un mélange de plâtre en poudre et de charbon ou de toute autre matière qui conduise mal la chaleur. Le piston PP transmet, au moyen d'une tige courte en fer (*fig.* 1) et d'une manivelle F, un mouvement circulaire alternatif à l'arbre horizontal K, placé dans l'intervalle libre entre les deux cylindres travaillant et alimentaire; l'arbre K, par l'intermédiaire de deux manivelles et d'une bielle, transmet un mouvement circulaire continu à l'arbre horizontal I (*fig.* 1 et 2), porteur d'un volant VV, lequel est chargé, sur une partie de la circonférence de son anneau, des contrepoids nécessaires pour équilibrer le système des pistons.

Le piston Q du cylindre alimentaire est percé, en

son centre, d'une ouverture munie d'une soupape, qui s'ouvre de dehors en dedans, pour laisser entrer l'air atmosphérique, lorsque les pistons descendent. Une autre ouverture *o'* (*fig.* 2) est ménagée dans la paroi supérieure du cylindre alimentaire, et munie d'une soupape s'ouvrant de haut en bas, dont le poids est équilibré par un ressort. Cette soupape est ouverte, lors de la chute des pistons, par l'action d'une bielle menée par un excentrique monté sur l'arbre II (*fig.* 2), et qui fait tourner, au moyen de la manivelle *m*, l'arbre *n* porteur de deux appendices formant une fourchette, qui embrasse la tige de la soupape, et sur les branches de laquelle porte le bas du ressort à boudin qui tient cette soupape soulevée. Au centre de la paroi supérieure du cylindre alimentaire est une ouverture munie d'une soupape, par laquelle l'air, préalablement comprimé par le piston Q, dans la première partie de sa course ascendante, passe dans la capacité cylindrique L (*fig.* 1), et de là, par le tuyau T, dans le réservoir D ou le compartiment supérieur de la boîte contenant le régénérateur. Cette boîte XYZV (*fig.* 2) est divisée en deux compartiments par une cloison horizontale *hh'*. Le compartiment inférieur renferme le *régénérateur*. Les toiles en fil de fer d'un millimètre un quart de diamètre, à mailles de un demi-centimètre de côté environ, ainsi que le montre la *fig.* 4, sont superposées horizontalement au nombre de 120 à peu près ; leur ensemble présente la forme d'un parallélipipède droit à base rectangle, de $0^m,20$ d'épaisseur, $0^m,60$ de longueur et $0^m,40$ de largeur. Elles sont fortement serrées les unes contre les autres, au moyen de trois couples de barres plates en fer appliquées sur les faces supérieure et inférieure du paquet, et reliées par des écrous vissés sur les extrémités

taraudées de tiges en fer, qui traversent les toiles et les barres. Le paquet ainsi formé pèse, avec ses armatures, $64^k,50$; les toiles métalliques seules doivent peser à peu près 54 kilogrammes. Le fond du compartiment inférieur est incliné vers le cylindre; la masse de toiles métalliques repose sur deux saillies ménagées sur les parois internes et latérales de la boîte, de sorte qu'il existe, en dessous, un espace vide ayant la forme d'un prisme à base triangulaire. Ce compartiment communique avec le cylindre travaillant par un orifice rectangulaire de $0^m,60$ de long et $0^m,144$ de hauteur, masqué, en grande partie par les tranches des toiles métalliques du régénérateur, ainsi qu'on le voit *fig.* 1. Le compartiment supérieur à la cloison *hh'* est subdivisé en deux cellules par une cloison verticale VV' (*fig.* 2). L'une de ces cellules communique librement avec le tuyau T et le réservoir d'air comprimé. Une soupape $S_1$ s'ouvrant de bas en haut laisse, lorsqu'elle est soulevée, une communication libre entre cette cellule et le compartiment inférieur. La communication est interrompue, aussitôt que cette soupape est abandonnée à son poids, aidé de l'action d'un ressort qui tend à la fermer. La deuxième cellule communique avec l'atmosphère par une tubulure où est logée une valve ou *papillon* U, que l'on laisse ouverte quand la machine fonctionne, et que l'on ferme, au moyen d'un manche extérieur, lorsqu'on veut l'arrêter. Une soupape $S_2$, qui s'ouvre de haut en bas, permet, lorsqu'elle est baissée, à l'air contenu dans le compartiment inférieur de s'écouler au dehors par la tubulure. Cet écoulement cesse, aussitôt que la soupape est libre de se relever, en cédant à l'action d'un ressort à boudin qui tend à la tenir appliquée contre son siége.

La soupape $S_1$ est soulevée et la soupape $S_2$ abaissée, en temps convenable, par l'action de cames fixées sur l'arbre $\Pi$ du volant, qui viennent presser respectivement en dessus et en dessous deux tasseaux ou mentonnets fixés sur les prolongements, extérieurs à la boîte, des tiges de ces soupapes.

$\pi$ (*fig.* 3) est une pompe à main, qui sert à fouler de l'air dans le réservoir, pour la mise en train de la machine. Lorsqu'on veut la mettre en activité, on chauffe préalablement, par un feu de coke allumé sur la grille G, le cylindre travaillant; quand le fond de celui-ci est arrivé à une température suffisante et qui correspond à peu près au rouge naissant, on foule de l'air dans le réservoir, jusqu'à ce que le manomètre accuse une pression supérieure de 4/10 à 5/10 à celle de l'atmosphère. On soulève à la main la soupape d'admission $S_1$, on aide au mouvement, en poussant dans le sens convenable les rayons du volant : le mouvement commencé se régularise en très-peu de temps et continue par l'action du feu entretenu sur la grille.

Dans la machine du Havre, la course commune des pistons du cylindre travaillant et du cylindre alimentaire est seulement de $0^m.23$; les diamètres de ces cylindres sont respectivement, ainsi que l'indiquent les figures, de $1^m.504$ et $1^m.240$. Les formes des cames fixées sur l'arbre du volant et les positions des mentonnets sur les tiges des soupapes $S_1$, $S_2$ sont réglées de telle sorte que la soupape d'admission $S_1$ est levée, au moment où le système des pistons arrive à la limite inférieure de sa course, et se ferme en s'abaissant, aux 8/10 de l'excursion ascendante; la soupape d'émission $S_2$ est abaissée à la limite de l'excursion ascendante, et se ferme en se relevant, à la limite de la course descendante, immé-

diatement avant l'ouverture de la soupape d'admission.

La garniture du piston PP du cylindre travaillant consiste en deux anneaux élastiques de fonte superposés, maintenus en place par un anneau plat fixé par des boulons sur la partie supérieure et découverte du piston. Le piston Q du cylindre alimentaire est garni de la même manière. Pour lubrifier ces garnitures pendant la marche, on frotte avec un tampon imbibé d'huile ou de graisse, les parois des cylindres.

La machine est simplement posée, sans aucune fondation, sur le sol nu et formé d'argile molle d'un atelier de chaudronnerie, de sorte que, lorsqu'elle fonctionne, toute la masse est dans un état d'ébranlement qui se communique au sol dans un rayon assez étendu. Elle est isolée de toute transmission de mouvement et de tout mécanisme opérateur. Un frein de Prony appliqué sur l'arbre du volant a servi, dans toutes mes expériences, à régler la vitesse de la machine et à mesurer le travail disponible.

Après quelques tâtonnements, par lesquels j'ai reconnu que le fond du cylindre travaillant devait être porté à une température voisine du rouge naissant, pour que l'air atmosphérique ne rentrât pas par la soupape d'émission $S_1$, avant la fin de l'excursion ascendante des pistons, que la pression fut maintenue constante dans le réservoir par le jeu de la pompe alimentaire et que la machine fonctionnât régulièrement, le frein de Prony a été placé sur l'arbre du volant, et un manomètre métallique à cadran de M. Eugène Bourdon adapté au réservoir.

Dans une première série d'expériences, n'ayant à ma dispositiou qu'un mauvais thermomètre à mercure, dont la graduation n'allait qu'à 60 degrés centigrades, je

me suis borné à relever, au moyen d'un indicateur de la construction de M. Clair, les courbes des tensions de l'air dans le cylindre travaillant, en même temps que je prenais note du nombre de tours du volant, de la charge du frein, qui était maintenu avec soin en équilibre, et de la pression de l'air dans le réservoir, accusée par le manomètre métallique. La machine marcha depuis deux heures jusqu'à cinq heures et demie. Six séries de courbes des pressions de l'air furent relevées dans cet intervalle. Je citerai seulement les résultats de trois expériences auxquelles se rapportent les courbes (*fig.* 1, 2 et 3, Pl. VI).

Les courbes (*fig.* 1) ont été relevées à 2 heures 20 minutes. La pression, accusée par le manomètre métallique du réservoir, oscillait, à chaque coup de piston, entre $0^{atm.},4$ et $0^{atm.},5$ au-dessus de l'atmosphère. La charge du frein était de 20 kilogrammes agissant à l'extrémité d'un bras de levier de $1^{m},05$. Le nombre de tours de l'arbre du volant était de 40 par minute; le travail disponible mesuré au frein était par conséquent de $87^{k \times m},96$ élevés à un mètre par seconde.

Les courbes (*fig.* 2) ont été relevées à 3 heures 50 minutes. La pression accusée par le manomètre adapté au réservoir oscillait de $0^{atm.},39$ à $0^{atm.},52$ par coup de piston. Le frein était chargé de 15 kilogrammes appliqués à 2 mètres de distance de l'arbre du volant. Le nombre de révolutions de cet arbre était de 47 par minute : le travail disponible, en conséquence, de $147^{k \times m},66$ par seconde.

Les courbes (*fig.* 3) ont été relevées à 5 heures. Le manomètre du réservoir accusait une pression variant, par coup de piston, de $0^{atm.},48$ à $0^{atm.},58$. Le frein était chargé de 30 kilogrammes à l'extrémité d'un bras de

levier de 2 mètres. Le nombre de révolutions du volant était, par minute, de 36 à 37, soit 36 1/2 : le travail disponible, de $229^{k\times m},34$ par seconde.

Un poids de 35 kilogrammes, placé à l'extrémité d'un bras de levier de 2 mètres, a arrêté la machine.

Pendant ces expériences, l'air émis par la tubulure contenant la valve U, était à une température supérieure à celle que pouvait accuser le thermomètre dont j'étais muni. Dans les expériences suivantes, cette température a été trouvée constamment supérieure à 100 degrés.

Dans la journée du vendredi 15 juillet, j'ai fait marcher la machine, pendant une heure environ, sous une charge du frein de 30 kilogrammes agissant à l'extrémité d'un rayon de 2 mètres. La pression oscillait dans le réservoir entre $0^{atm.},52$ et $0^{atm.},62$ au-dessus de la pression atmosphérique. Le volant faisait 46 tours par minute. Le travail disponible mesuré par le frein était donc de 289 kilogrammes élevés à 1 mètre par seconde ou de $3^{chev.vap.},85$. L'air sortait de la tubulure contenant la valve U, à une température de 105 degrés accusée par un thermomètre centigrade, qu'on tenait enfoncé dans cette tubulure. Au bout d'une heure, la vitesse de la machine s'est ralentie et est tombée à 27 tours de volant par minute.

La machine du Havre est, ainsi que l'inventeur l'avait annoncé, très-inférieure, pour les dispositions générales et les détails de construction, aux appareils du même genre, qui ont été exécutés depuis. Elle est en outre, ainsi que je l'ai dit, simplement posée sur un sol tremblant; on ne peut donc juger le système d'Ericsson par les résultats bruts que fournit cette machine, en ce qui concerne le travail disponible et le combustible brûlé. C'étaient surtout les circonstances physiques du jeu de l'appareil qu'il importait de con-

stater, et notamment les températures en divers points du paquet de toiles métalliques, qui en est la partie essentielle, ainsi que celle de l'air, lorsqu'il entre dans le cylindre travaillant et lorsqu'il se répand dans l'atmosphère. Je ne pouvais faire usage pour cela que de thermomètres à mercure ou de tubes remplis d'air; l'observation des températures variables des toiles métalliques, pendant l'admission et l'émission de l'air, de l'air lui-même pendant la période d'expansion dans le cylindre, aurait exigé des instruments de physique particuliers très-délicats, dont l'établissement au Havre et l'application à une machine dépourvue de fondations et sujette à d'énormes ébranlements, était à peu près impossible. Je n'ai pas songé à l'aborder.

Les dispositions qui ont été faites pour déterminer les températures moyennes des toiles métalliques et de l'air, sont les suivantes : on a percé dans la plaque de fonte, qui ferme sur le devant la boîte du régénérateur, quatre trous disposés sur deux lignes horizontales situées, l'une à 1 1/2 ou 2 centimètres au-dessus de la face horizontale inférieure, l'autre à 1 1/2 ou 2 centimètres au-dessous de la face horizontale supérieure du paquet de toiles métalliques. Quatre tubes en tôle de 3/4 de millimètre d'épaisseur, fermés à leurs extrémités, passent par ces trous, où ils sont fixés par un filet de vis qui pénètre dans un écrou taraudé dans la fonte, et s'étendent horizontalement dans le paquet de toiles métalliques qu'ils traversent dans toute sa largeur. Ces tubes, ouverts extérieurement, sont destinés à recevoir des thermomètres à mercure, dont les tiges en verre portent une graduation allant jusqu'à 360 ou 400 degrés, et sont coudées à angle droit à une distance de $0^m,30$ environ du réservoir, le 0 de la graduation étant un peu au delà du

coude. Les thermomètres étant enfoncés dans leurs tubes, leurs réservoirs se trouvaient rapprochés de l'extrémité postérieure des toiles métalliques; leurs tiges graduées se relevaient verticalement sur le devant de la machine.

Un autre tube en métal, destiné à recevoir soit un thermomètre à mercure et à tige coudée, soit un tube à air terminé par une pointe effilée, fut adapté à une ouverture pratiquée dans la paroi latérale de la boîte. Il s'étendait horizontalement dans l'espace vide situé au-dessous des toiles métalliques, devant la partie libre de l'orifice rectangulaire, qui met la boîte en communication avec le bas du cylindre travaillant. Ces dispositions sont indiquées dans les *fig.* 1 et 2, Pl. V; $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$ (*fig.* 2) représentent les sections des quatre tubes serrés dans le paquet de toiles et vissés dans la porte en fonte qui ferme la boîte antérieure sur sa face; $\xi$ est le tube adapté à la paroi latérale. Les deux tubes $\alpha$ et $\beta$ sont situés dans un même plan vertical, passant à peu près par l'axe de la soupape d'admission $S_1$; $\gamma$ et $\delta$ sont dans un même vertical, passant à peu près par l'axe de la soupape d'émission $S_2$.

Les observations suivantes ont été faites, dans la journée du 9 août. On avait allumé sur la grille, vers 9 heures du matin, un léger feu de coke. Après avoir courbé les tiges de 5 thermomètres à mercure construits par M. Fastré, je mis ces instruments en place dans les tubes destinés à les recevoir. Ces préparatifs occupèrent toute la matinée et ne furent terminés qu'à midi. Vers midi et demi, le feu fut poussé avec un peu plus d'activité. A 1 heure 15 minutes, la machine n'étant pas en activité, les températures accusées par les thermomètres, étaient les suivantes :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 200,5 |
| β. . . . . . . . . . | 132 |
| γ. . . . . . . . . . | 191 |
| δ. . . . . . . . . . | 105 |
| ξ. . . . . . . . . . | 184 |

La température extérieure de l'atelier était de 20 à 21 degrés. A 2 heures 18 minutes, la machine étant encore au repos, les températures accusées étaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 215 |
| β. . . . . . . . . . | 143 |
| γ. . . . . . . . . . | 206 |
| δ. . . . . . . . . . | 115 |
| ξ. . . . . . . . . . | 200 |

A 2 heures 23 minutes, la lecture des thermomètres venait d'être terminée. Le frein placé sur l'arbre du volant était chargé de 25 kilogrammes placés à 2 mètres de distance de l'axe. Le manomètre métallique du réservoir accusait une pression de $0^{atm.},45$ au-dessus de l'atmosphère. On mit la machine en activité. Dès les premiers coups de pistons, la soudure du tube γ fondit; le thermomètre placé dans ce tube fut projeté et cassé. Les températures accusées étaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 270 |
| β. . . . . . . . . . | 75,25 |
| γ était cassé. | |
| δ. . . . . . . . . . | 145 |

Il fut impossible de lire la température accusée par le thermomètre placé dans le tube ξ.

Après un intervalle de quelques minutes, la machine fonctionnant régulièrement, à raison de 41 tours de

l'arbre du volant par minutes, les températures accusées étaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 272,5 |
| 6. . . . . . . . . . | 77 |
| δ. . . . . . . . . . | 145,5 |

Le manomètre du réservoir accusait une pression variable de $0^{atm.},50$ à $0^{atm.},625$ par chaque coup de piston.

Bientôt après la vitesse de la machine se ralentit, les températures accusées par les thermomètres diminuèrent graduellement, ainsi que la pression, dans le réservoir. Le feu n'était pas poussé avec assez d'activité.

A 3 heures 18 minutes, l'arbre du volant faisait régulièrement 35 tours par minute sous une charge du frein de 25 kilogrammes appliquée à 2 mètres de distance de l'axe. Le manomètre du réservoir oscillait entre $0^{atm.},475$ et $0^{atm.},575$ au-dessus de la pression atmosphérique. Les températures accusées étaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 257 |
| 6. . . . . . . . . . | 76 |
| δ. . . . . . . . . . | 143,5 |

Un thermomètre enfoncé par la tubulure d'émission dans la cellule supérieure à la soupape $S_2$ par laquelle sort le courant d'air, accusa une température de 108 degrés.

On a relevé à cet instant la courbe des tensions de l'air dans le cylindre alimentaire, avec l'indicateur à ressort dont je m'étais servi dans les expériences précédentes. Ce sont les courbes (*fig.* 4).

La machine continuait à diminuer de vitesse en même temps que la température baissait. A 4 heures le

volant ne faisait plus que 30 tours par minute, et le thermomètre α n'accusait que 248 degrés 1/2. Je fis décrasser la grille et activer le feu, l'indicateur à ressort fut déplacé et appliqué sur le cylindre travaillant. A 4 heures 1/2 le volant faisait 40 tours par minute, le frein étant toujours chargé de 25 kilogrammes à 2 mètres de distance de l'axe, les thermomètres accusaient les températures suivantes :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . | 263 |
| β. . . . . . . . . | 80 |
| δ. . . . . . . . . | 155 |

La température de l'air sortant était de 108 à 110 degrés. C'est à ce moment que se rapportent les courbes $1_b$ relevées sur le cylindre travaillant.

La vitesse de la machine ne s'est soutenue ainsi que pendant 20 minutes environ. A 4 heures 55 minutes, le volant ne faisait plus que 34 tours; à 4 heures 58 minutes, j'ai compté 33 tours seulement; à 5 heures 2 minutes, la vitesse était remontée à 36 tours par minute; les températures étaient alors au thermomètre :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . | 261 |
| β. . . . . . . . . | 80,5 |
| δ. . . . . . . . . | 153 |

De 5 heures à 5 heures 1/2, la vitesse de l'arbre du volant a diminué, en même temps que les températures accusées par les thermomètres montaient. J'ai fait graisser abondamment les axes des arbres qui étaient très-chauds; immédiatement après, à 5 heures 36 minutes, sans qu'on eût poussé le feu plus activement, la vitesse du volant est remonté à 41 ou 42 tours par minute. Le manomètre du réservoir oscillait, à chaque coup de

piston, entre $0^{atm.},5$ et $0^{atm.},6$ au-dessus de l'atmosphère. Les thermomètres accusaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 265 |
| 6. . . . . . . . . . | 82,5 |
| δ. . . . . . . . . . | 159 |

La température de l'air sortant, mesurée par un thermomètre plongé dans la cellule de la boîte supérieure à la soupape d'émission $S_2$, était de 110 à 112 degrés. C'est à 5 heures 53 minutes que se rapportent les courbes (*fig.* 5) et les courbes fermées (*fig.* 6) relevées sur le cylindre alimentaire. A ce moment on a retiré du tube ξ, après en avoir fermé à la lampe l'extrémité effilée, un tube en verre rempli d'air sec, qui avait été mis en place à 5 heures 15 minutes. Au moment de la fermeture du tube en verre, la pression atmosphérique mesurée par un baromètre portatif de Gay-Lussac placé dans l'atelier où se trouvait la machine était de $0^{m},7725$ ; le thermomètre fixé au baromètre marquait $22^{d},5$. A 6 heures, la soudure du tube en fer qui contenait le thermomètre α a été fondue ; les expériences ont été interrompues.

J'ai essayé, dans cette journée, de constater la quantité de coke consommée pour entretenir le mouvement de la machine. A cet effet, on a pesé à 4 heures 41 minutes, 15 kilogrammes avec lesquels le foyer a été alimenté jusqu'à 6 heures, moment où les expériences ont cessé. La machine aurait donc brûlé en une heure 19 minutes, 15 kilogrammes de coke, soit environ 11,4 kilogrammes par heure, pour une vitesse du volant qu'on peut évaluer à 40 tours par minute, sous l'action d'un frein chargé de 25 kilogrammes placés à 2 mètres de distance de l'axe de l'arbre; cela correspondrait à un travail disponible de $2^{chev.},79$ ou à une consommation de 4 kilogrammes par heure et par force

de cheval. Je me hâte d'ajouter qu'il ne faut attacher aucune importance à ce résultat, à cause de la construction et de l'installation extrêmement défectueuse de la machine, du travail considérable absorbé par les frottements et les ébranlements, de la durée beaucoup trop courte de l'expérience, de l'irrégularité avec laquelle le feu était conduit par un chauffeur que je ne pouvais pas diriger, absorbé que j'étais par le soin d'observer les températures, la vitesse de la machine et la maintenue du frein dans l'état d'équilibre.

Le tube en verre placé dans le tube en fer ξ et retiré à la fin de la journée a été rapporté au laboratoire de l'École des mines. Il avait été préparé, rempli d'air sec, et l'extrémité effilée fermée à la lampe par M. Fastré, à Paris. Il fut transporté au Havre dans cet état et son extrémité cassée, au moment même de la mise en place. Il fut ensuite fermé, en fondant à la lampe à alcool l'extrémité effilée, au moment où on le retira. M. Rivot, qui se trouvait en même temps que moi au Havre, où il a bien voulu me prêter son concours pour les observations sur place, a eu la bonté de faire, dans le laboratoire de l'École des mines, l'examen de l'air contenu dans ce tube. Voici les résultats.

La pointe effilée ayant été cassée sous le mercure, le métal liquide s'est élevé dans le tube, à $0^m,16$ de hauteur au-dessus de son niveau dans la cuve. La température, dans le laboratoire, était alors de 25 degrés, et la pression barométrique de $0^m,753$ de mercure à la même température de 25 degrés.

Si l'on désigne par $V$ et $v$ les volumes respectifs occupés par la masse d'air dans le tube, lorsqu'il a été retiré du fourreau et scellé au Havre, et lorsqu'il a été examiné dans le laboratoire, par $P$ et $p$ les forces élastiques, par $x$ et $t$ les températures de l'air correspon-

dantes aux volumes V et $v$, par $\alpha$ le coefficient de dilatation de l'air sec, on a pour déterminer la température $x$, l'équation :

$$\frac{V}{v} = \frac{p}{P} \times \frac{1 + \alpha x}{1 + \alpha t};$$

d'où

$$x = \frac{1}{\alpha}\left[\frac{V}{v} \times \frac{P}{p}(1 + \alpha t) - 1\right].$$

Le rapport $\frac{V}{v}$ a été déterminé par le rapport des poids des quantités de mercure nécessaires pour remplir le tube entier et la partie du tube occupée par l'air, lors de l'observation faite dans le laboratoire. Ces poids ont été trouvés respectivement égaux à $142^g,495$ et $90^g,317$; d'où, en négligeant les effets de la dilatation du verre,

$$\frac{V}{v} = \frac{142,495}{90,317} = 1,5777.$$

La pression P était celle de l'atmosphère au moment de la fermeture du tube au Havre, mesurée par une colonne de mercure de $0^m,7725$ à la température de 22 degrés 1/2. La pression $p$ était mesurée par la colonne barométrique de mercure $0^m,753$ diminuée de $0^m,16$, hauteur à laquelle le mercure est monté dans le tube au-dessus de son niveau dans la cuve; $0^m,753 - 0^m,16 = 0^m,593$ de mercure à la température de 25 degrés. En négligeant la correction due à la petite différence des températures du mercure, on a donc :

$$\frac{P}{p} = \frac{0,7725}{0,593} = 1,3027.$$

Enfin prenant pour $\alpha$ la valeur 0,00367 donnée par les expériences de M. Regnault et remplaçant $t$ par 25 degrés, on trouve pour la température cherchée $x = 339$ degrés.

J'ai regretté de ne pouvoir contrôler cette indication par la lecture directe de la température accusée par le thermomètre à mercure à tige recourbée que j'avais placé dans le tube ξ. Il paraît au surplus évident que le fourreau ξ doit prendre une température plus élevée que la température moyenne de l'air qui le frappe, en entrant et sortant du cylindre travaillant, parce qu'il reçoit de la chaleur rayonnante du fond concave de ce cylindre, qui est directement exposé à l'action du foyer.

L'indicateur avec lequel ont été relevées les courbes des tensions de l'air dans les cylindres travaillant et alimentaire peut, à volonté, tracer une série continue de courbes qui accusent les pressions dans la capacité avec laquelle l'instrument est mis en communication, pendant l'ascension et la chute du piston, soit des courbes fermées comme celles que l'on obtient avec les instruments du même genre dont on fait habituellement usage. Lorsque l'on relève une série continue de courbes, le cylindre sur lequel s'enveloppe la bande de papier, qui reçoit la trace du style fixé à la tige du petit piston de l'indicateur, tourne toujours dans le même sens, d'un mouvement continu, tandis que le piston de la machine qui met ce cylindre en mouvement, a un mouvement rectiligne alternatif. Un second style fixé dans une position invariable et dont on a amené la pointe, au commencement des observations, à la hauteur où se trouve le style mobile, lorsque le piston de l'indicateur supporte des pressions égales sur ses deux faces, trace la ligne continue des pressions nulles, qu'on appelle vulgairement la ligne atmosphérique, ligne qui devient droite sur la bande de papier développée. Le piston de l'indicateur avait un diamètre de $22^{mm},50$ ; sa surface était par conséquent de $3^{cent.q.},976$. La flexion du ressort à boudin, mesurée directement,

a été trouvée moyennement de 22mm,2444 par kilogramme de charge, ce qui correspond à 88mm,442 pour une charge de 1 kilogramme sur chaque centimètre carré de la surface du piston, ou par atmosphère.

J'ai comparé directement l'indicateur avec le manomètre métallique de M. Eug. Bourdon adapté au réservoir. A cet effet, les deux instruments ayant été placés sur deux branches d'un tube en métal adapté à la paroi du réservoir, on a foulé lentement de l'air dans ce réservoir, jusqu'à ce que la pression effective accusée par le manomètre métallique fût de 0atm.,5. A chaque dixième d'atmosphère d'accroissement de pression, on faisait tracer par le style de l'indicateur une ligne droite qui limitait l'ordonnée correspondante, c'est-à-dire la hauteur dont le piston de l'indicateur était élevé au-dessus de la ligne atmosphérique. On a ensuite laissé tomber la pression dans le réservoir, et repéré de la même manière les ordonnées correspondantes à chaque dixième d'atmosphère.

*Double comparaison.*

| Indications du manomètre métallique. | Ordonnées correspondantes de l'indicateur en millimètres. |
|---|---|
| 0,20 | 17,75 |
| 0,30 | 24,25 |
| 0,40 | 32,25 |
| 0,50 | 39,50 |
| En descendant. | |
| 0,40 | 36,00 |
| 0,30 | 26,00 |
| 0,20 | 15,75 |
| 0,10 | 7,20 |

La pression, dans le réservoir, tombait très-vite de

$0^{atm.},5$ à $0^{atm.},4$, et assez rapidement de $0^{atm.},4$ à $0^{atm.},3$; la chute de la pression était ensuite très lente. Ainsi le réservoir contient fort mal l'air sous une pression de $0^{atm.},3$ à $0^{atm.},5$. Dans la seconde partie des observations faites pendant que la pression diminuait, le mouvement du piston de l'indicateur est évidemment gêné par le frottement du piston lui-même ou de la pointe du style sur le papier. Dans les deux dernières observations correspondantes aux pressions de $0^{atm.},2$ et $0^{atm.},1$, on a mis le dessous du piston en communication avec l'atmosphère extérieure, par l'ouverture d'un robinet que l'on a ensuite fermé brusquement. C'est ainsi que l'on a obtenu les ordonnées $15^{mm},75$ et $7^{mm},20$. La moyenne de la première série d'observations donne pour l'ordonnée de l'indicateur correspondante à une atmosphère accusée par le manomètre métallique, $81^{mm},25$; la seconde série donne pour la même ordonnée $84^{mm},95$; la moyenne de ces deux chiffres est $83^{mm},10$. Adoptant ce dernier nombre, nous admettrons que les pressions en atmosphères correspondantes aux ordonnées des courbes obtenues avec l'indicateur sont égales aux longueurs de ces ordonnées exprimées en millimètres, divisées par le nombre 83,1.

Les expériences rapportées précédemment mettent en évidence la facilité avec laquelle l'échange de chaleur a lieu entre les toiles métalliques et l'air qui les traverse; elles montrent aussi que le passage de l'air à travers ces toiles ne donne lieu qu'à une faible résistance. Quant à la transmission de chaleur, je ferai remarquer qu'il a suffi de quelques coups de piston pour changer la distribution des températures dans le paquet de toiles métalliques, qui avait lieu avant la mise en train de la machine, et que, pendant que celle-ci était en activité, deux thermomètre $\alpha$ et $\beta$, pla-

cés dans une même verticale, directement au-dessous de la soupape d'admission de l'air venant du réservoir, et séparés l'un de l'autre par un intervalle de $0^m,16$ environ occupé par les toiles métalliques, ont accusé des températures dont l'écart a été de 181 à 200 degrés centigrades. La mauvaise soudure du fourreau métallique, destiné à contenir le thermomètre $\gamma$, ne m'a pas permis d'observer la température des toiles au-dessous de la soupape d'émission, dans la couche horizontale où se trouvait le thermomètre $\alpha$. Ce dernier a indiqué une température de 260 à 270 degrés. La température accusée par $\gamma$ aurait été plus élevée et assez voisine de celle de l'air dans l'intérieur même du cylindre travaillant. D'après l'expérience sur le tube à air placé dans le fourreau $\xi$, expérience d'ailleurs fort incertaine, il est probable que cette dernière est peu éloignée de 300 degrés. Les températures, dans chaque couche de toile métallique, doivent varier à chaque instant, par suite du passage de l'air qui entre dans le cylindre ou en sort; mais ces variations qui ont lieu à chaque coup de piston, c'est-à-dire dans l'intervalle de 1 1/2 à 2 secondes, sont peu étendues, à cause de la masse énorme du métal comparativement à celle de l'air qui le traverse, et ne sont pas sensibles aux thermomètres. Le volume d'air serait, d'après le diamètre du cylindre alimentaire et la course du piston de $0^{mc},277755$, à la pression et à la température de l'atmosphère extérieure, abstraction faite de l'espace nuisible qui reste nécessairement entre le piston alimentaire arrivé à la limite supérieure de sa course et la soupape intermédiaire entre le cylindre et le réservoir, espace dont l'influence diminue le volume réellement foulé dans le réservoir à chaque coup de piston. Le poids de l'air foulé est donc inférieur à

$$\frac{0,277755 \times 1,3}{1 + 0,00367 \times 20} = 0^{k},336.$$

(Je prends pour le poids du mètre cube d'air à 0 degré et sous la pression atmosphérique $1^{k},30$, et je suppose la température de 20 degrés.) Or les toiles métalliques pèsent environ 54 kilogrammes. Les caloriques spécifiques du fer et de l'air atmosphérique étant respectivement, d'après les expériences de M. Regnault, 0,24 et 0,11, l'élévation ou l'abaissement de 1 degré de température dans la masse métallique doit correspondre à une variation en sens inverse de $\frac{54 \times 0,11}{0,336 \times 0,24} = 73^{d},66$ dans la température de l'air qui la traverse. Un échauffement de l'air de 260 à 300 degrés ne produira donc sur les toiles métalliques qu'un refroidissement de 3 1/2 à 4 degrés.

La résistance que les toiles opposent à l'émission de l'air chaud, qui leur abandonne une grande partie de sa chaleur, est très-faible, ainsi qu'on le voit par les courbes fermées et la série de courbes (*fig.* 3) relevées lorsque le volant faisait 36 à 37 révolutions par minute. Elles montrent nettement que la soupape d'émission s'ouvre à la fin de l'excursion ascendante du piston, et que la pression de l'air, à partir de cet instant, décroît très-rapidement; l'ordonnée qui représente l'excès de cette pression au-dessus de celle de l'atmosphère extérieure tombe de 17 millimètres à 1 millimètre, pendant que le piston parcourt les 2 ou 3 premiers centièmes de sa course descendante; elle reste constante pendant toute la chute du piston, et se relève ensuite brusquement au moment où la soupape d'admission s'ouvre de nouveau, lorsque la chute est terminée. La contre-pression sur le piston travaillant

ne serait donc que d'environ 1/80 d'atmosphère. L'examen de la série de courbes (*fig.* 1) et des courbes (*fig.* 7) conduit à un résultat tout semblable. Les unes et les autres ont été relevées par une vitesse du volant de 40 tours à la minute. Dans la série de courbes (*fig.* 2), la contre-pression accusée est beaucoup plus considérable, et s'élèverait de 5/100 à 3 100 d'atmosphère environ. Ces courbes ont été relevées par une vitesse du volant de 47 tours à la minute ; la contre-pression devait donc être plus forte dans cette expérience que dans les autres. Toutefois, il me paraît probable que toute l'augmentation accusée par les diagrammes n'est pas réelle, et qu'il y a dans cette observation une erreur provenant du fait de l'instrument indicateur.

Je n'ai pu organiser mes appareils d'observation, de manière à obtenir la mesure directe de l'excès de pression de l'air, dans le compartiment qui précède la soupape d'émission et l'intérieur du cylindre travaillant, pendant que la soupape est ouverte. Les courbes des forces élastiques de l'air dans le cylindre alimentaire et le cylindre travaillant, dans la journée du 9 août, n'ont pas été relevées simultanément; cependant, comme elles ont été prises dans des circonstances presque identiques de la marche de la machine, et que d'ailleurs les courbes d'une même espèce diffèrent très-peu les unes des autres, il est permis de les comparer entre elles; or dans toutes les courbes relevées sur le cylindre alimentaire, les ordonnées qui mesurent l'excès de la force élastique de l'air au-dessus de l'atmosphère, depuis l'ouverture de la soupape de communication entre le cylindre alimentaire et le réservoir jusqu'à la fermeture de la soupape d'admission qui intercepte la communication entre le cylindre travaillant

et le réservoir (instants qui sont très-nettement indiqués par le tracé des courbes elles-mêmes), s'élève graduellement de 38 à 41 millimètres dans les courbes correspondantes relevées sur le cylindre travaillant. Les forces élastiques de l'air chaud, depuis l'ouverture jusqu'à la fermeture de la soupape d'admission, s'abaissent graduellement depuis 41 jusqu'à 38 millimètres. Ainsi, dans les instants qui précèdent la fermeture de la soupape d'admission, la différence des forces élastiques de l'air dans le cylindre alimentaire et le cylindre est au plus égale à celle qui correspond à une ordonnée de 3 millimètres représentant $\frac{3}{83,1} = 0,036$ d'atmosphère. Cette différence est due à la résistance que l'air éprouve dans son passage par la soupape du cylindre alimentaire L, le tuyau T, la soupape d'admission $S_2$, et à travers les toiles métalliques où il se dilate en augmentant de température. Il résulte évidemment de ces faits : 1° que la résistance que les toiles métalliques opposent au passage de l'air, dans la machine du Havre, reste très-faible, soit que l'air cède ou emprunte de la chaleur au métal; 2° que les expériences paraissent indiquer une résistance plus considérable dans le second cas que dans le premier, ainsi qu'on pouvait d'ailleurs le prévoir.

La grande différence des températures accusées par les thermomètres $\epsilon$ et $\delta$, placés à la même distance de la face supérieure du paquet de toiles métalliques, montre d'ailleurs que l'air est loin de se répandre uniformément dans la masse qu'il traverse; de sorte que l'échange de chaleur entre l'air et le métal est beaucoup moins complet qu'il ne le serait si les toiles, les soupapes d'admission et d'émission, et l'ouverture

qui met en communication le cylindre travaillant et la boîte du *régénérateur*, étaient disposées de manière à favoriser une distribution égale de l'air dans tous les interstices existant entre les fils métalliques.

Lorsque l'appareil indicateur à style était adapté au cylindre alimentaire, la poulie qui communique le mouvement au cylindre sur lequel s'applique la bande de papier qui reçoit l'empreinte du style, était conduite par une ficelle très-courte, rattachée à l'une des colonnes qui relient les deux pistons travaillant et alimentaire, de sorte que le mouvement de la bande de papier, et par conséquent les abscisses des courbes tracées par le style sont, au degré d'exactitude que comportent les meilleures observations faites avec l'indicateur, proportionnelles aux espaces rectilignes parcourus par le système des pistons. Il n'en est pas de même pour les courbes des pressions de l'air dans le cylindre travaillant, parce que la poulie de l'indicateur était conduite par une ficelle de plusieurs mètres de longueur, rattachée à un appendice fixé à l'un des points de la manivelle de l'arbre K, qui avait un mouvement circulaire alternatif.

Dans la série des courbes $1_a$ relevées sur le cylindre alimentaire, la course totale du piston qui est de $0^{m},23$ est représentée par une abscisse de 44 millimètres. Lorsque la course ascendante des pistons commence, l'air subit une compression dans le cylindre; il commence à pénétrer dans le réservoir en soulevant la soupape intermédiaire L, lorsqu'il a acquis une augmentation de force élastique mesurée par une ordonnée de $37^{mm},50$ à 38 millimètres, correspondante à $0^{atm.},454$. L'espace parcouru par les pistons est alors mesuré par une abscisse de $12^{mm},50$ à 13 millimètres, soit $12^{mm},75$; cet espace est donc égal à la fraction

$\frac{12,75}{44}$ = 0,290 de la course entière ou $0^{m},0667$. Les pistons continuent à monter ; l'air refoulé par le piston alimentaire passe dans le réservoir et dans le cylindre travaillant jusqu'au moment où la soupape d'admission se ferme ; depuis ce moment jusqu'à la fin de la course ascendante, il s'accumule dans le réservoir. La fermeture de la soupape d'admission est nettement accusée par la courbe des pressions dont les ordonnées croissent à partir de cette fermeture jusqu'à la fin de la course, suivant une loi beaucoup plus rapide que pendant la période précédente. Le point où la courbe se relève presque brusquement, correspond à une abscisse de 34 à $34^{mm},50$, soit $34^{mm},25$, c'est-à-dire à la fraction $\frac{34,25}{44}$ = 0,780 de la course totale, ou à un espace réellement parcouru de $0^{m},1794$. Dans la période de mouvement comprise entre l'ouverture de la soupape de refoulée et la fermeture de la soupape d'admission, l'ordonnée de la courbe croît depuis $37^{mm},75$ jusqu'à $40^{mm},50$, c'est-à-dire de $0^{atm.},454$ à $0^{atm.},487$ ; enfin pendant les derniers $\frac{22}{100}$ de la course des pistons, où le réservoir et le cylindre alimentaire sont isolés du cylindre travaillant par la fermeture de la soupape d'admission, l'ordonnée de la courbe croît depuis $40^{mm},50$ jusqu'à 46 millimètres, et par conséquent la force élastique de l'air de $0^{atm.},487$ à $0^{atm.},553$. A la fin de l'excursion ascendante des pistons, la pression tombe brusquement à la pression atmosphérique et l'existence de l'espace nuisible dans la pompe alimentaire, n'est point accusée par les diagrammes. Le diamètre du piston du cylindre alimentaire est de $1^{m},24$ ; sa surface a donc une étendue de 12.075 centimètres

carrés, et une atmosphère de pression effective sur ce piston répond à une pression totale de 12.075 kilogrammes. L'aire de la surface comprise entre la ligne atmosphérique et la courbe des pressions diffère très-peu, ainsi que le montrent les figures, de celle d'une surface composée d'un triangle, qui correspond à la compression de l'air dans le cylindre alimentaire, d'un premier trapèze correspondant à la partie de la course comprise entre l'ouverture de la soupape L et la fermeture de la soupape d'admission, et d'un second trapèze correspondant à la fin de la course pendant laquelle la soupape d'admission est fermée. Le travail résistant exercé sur le piston de la pompe alimentaire, pendant son excursion ascendante, est donc, d'après les courbes $1_a$, égal à

$$12.075 \text{ kil.} \left(0{,}0667 \times \frac{0{,}454}{2} + 0{,}1127 \times \frac{0{,}454 + 0{,}487}{2} + \right.$$
$$\left. + 0{,}0506 \times \frac{0{,}487 + 0{,}553}{2}\right) = 1.140 \text{ kil. élevés à 1 mètre.}$$

L'examen des courbes fermées et de la série des courbes $2_a$ conduit à des résultats qui s'écartent fort peu des précédents. Dans la série des courbes $2_a$, les ordonnées qui mesurent les pressions de l'air, à l'ouverture de la soupape de refoulée, lors de la fermeture de la soupape d'admission et à la fin de la course sont respectivement égales à $40^{mm},50$, 41 et $46^{mm},50$, un peu plus grande que dans la série de courbes précédentes, et le calcul donne pour l'expression du travail résistant sur le piston de la pompe à air pendant une excursion, 1.185 kilog. élevé à 1 mètre.

Dans les courbes des pressions de l'air dans le cylindre travaillant, le moment de la fermeture de la soupape d'admission est très-nettement accusé par le décroisse-

ment brusque de la force élastique de l'air, aussitôt après que le cylindre est isolé du réservoir par la fermeture de la soupape d'admission, qui a lieu, ainsi que nous le montrent les courbes relevées sur la pompe alimentaire, aux 0,78 de la course ascendante du piston. D'ailleurs la pression de l'air chaud dans le cylindre travaillant atteint son maximum à l'origine même de la course, et diminue ensuite graduellement, et d'une petite quantité, jusqu'au moment de la fermeture de la soupape d'admission, où elle s'abaisse brusquement. L'aire de la surface qui mesure le travail moteur sur le grand piston diffère donc assez peu de la somme de deux trapèzes, dont le premier a pour hauteur l'abscisse correspondante aux 78 premiers centièmes de la course pendant lesquels la soupape d'admission est ouverte, et pour bases parallèles les pressions qui ont lieu à l'origine et à la fin de cette partie de la course, et dont le second a pour hauteur les 22 derniers centièmes de la course et pour bases parallèles les pressions correspondantes, au commencement et à la fin de l'expansion de l'air confiné dans le cylindre.

Dans les deux courbes $1_b$, relevées le même jour que les courbes des pressions de la pompe alimentaire, les ordonnées qui mesurent les pressions à l'origine de la course, à la fermeture de la soupape d'admission et à la fin de la course du piston travaillant, sont respectivement égales à 41, 38 et 17 millimètres; elles correspondent à des pressions effectives de $0^{atm.},493$, $0^{atm.},457$ et $0^{atm.},205$. Le diamètre du piston travaillant est de $1^{m},504$; sa surface de 17.766 centimètres carrés : la pression d'une atmosphère sur cette surface est en conséquence de 17.766 kilogrammes, ce qui donne pour l'expression du travail moteur sur le piston travaillant, pendant son ascension :

$$17.766\text{ kil.}\left(0^m,1794 \times \frac{0,493+0,457}{2} + 0^m,0506 \times \right.$$
$$\left. \times \frac{0,457+0,205}{2}\right) = 1.811 \text{ kil. élevés à 1 mètre.}$$

Il faut en retrancher le travail résistant dû à la contre-pression de l'air pendant la chute du piston. Cette contre-pression est mesurée par une ordonnée qui tombe de 17 à 1 millimètre, tandis que le piston descend d'environ 5 millimètres, et reste ensuite égal à 1 millimètre pendant le reste de la chute ; elle donne donc lieu à un travail résistant, dont l'expression est à peu près :

$$17.766\text{ kil.} \times \frac{1}{83,1}\left(0^m,005 \times \frac{18}{2} + 0^m,225 \times 1\right) = 58\text{ kil.}$$
élevés à 1 mètre.

Le travail moteur sur le piston travaillant, pendant une période complète de mouvement correspondante à une révolution du volant, est donc de 1.811—58=1.753kil. élevés à 1 mètre. En admettant que la compression de l'air donnât lieu à un travail résistant de $1.185^{k\times m}$, le travail moteur transmis aux systèmes des deux pistons, par chaque révolution de volant serait donc d'environ 568 kilogrammes élevés à 1 mètre.

Le volant, au moment où les courbes $1_6$ ont été relevées, faisait 40 tours par minute ; le travail mesuré sur les pistons au moyen des indicateurs serait donc de $379^{k\times m}$ par seconde, et équivaudrait à 5 chevaux-vapeur.

Le frein était chargé de 25 kil. à 2 mètres de distance de l'arbre ; le travail disponible sur l'arbre du volant était de $\frac{2 \times 25 \times 6,2832 \times 40}{60} = 209^{k\times m},44$ par seconde, correspondant à $2^{\text{chev.-vap.}},79$. Le travail absorbé par les

frottements et ébranlements s'élevait donc aux 0,44 du travail transmis au système des pistons et accusé par l'indicateur, ou bien aux 0,79 du travail disponible mesuré sur l'arbre du volant. D'après l'observation que j'ai rapportée précédemment sur la quantité du coke consommé pour entretenir le jeu de la machine, la consommation serait de $11^k,4$ par heure pour un travail de 5 chevaux-vapeur sur les pistons mesurés par l'indicateur, c'est-à-dire de $2^k,5$ par heure et par cheval. On ne doit pas attacher plus d'importance à ce résultat qu'à la comparaison entre le combustible consommé et le travail disponible mesuré sur l'arbre du volant, à cause des fuites d'air très-considérables qui avaient lieu par les joints des parois du réservoir et sur le contour du piston travaillant, dès que la pression effective approchait de 1/2 atmosphère.

Je reviens à l'examen des courbes des pressions de l'air dans le cylindre alimentaire et le cylindre travaillant. Au commencement de l'excursion ascendante du système des pistons, l'air est comprimé dans le cylindre jusqu'à ce qu'il ait acquis une force élastique capable de soulever la soupape intermédiaire entre ce cylindre et le réservoir. Cette soupape est soulevée, ainsi que cela a été expliqué, lorsque le piston a parcouru les 29/1000 de sa course totale ; la force élastique de l'air comprimé est alors de $0^{atm}$,454 supérieure à la pression atmosphérique. Si la température de l'air demeurait constante, pendant la compression, la force élastique de l'air varierait en raison inverse du volume, conformément à la loi de Mariotte. Ainsi, en désignant par $p$ la longueur qui mesure à l'échelle de l'indicateur la pression atmosphérique, par $y$ l'ordonnée variable de la courbe qui mesure la pression effective de l'air, par $x$ l'abscisse correspondante, par H la projection hori-

zontale de la courbe, c'est-à-dire l'abscisse qui représente la longueur totale de la course du piston, par $h$ la longueur qui, à la même échelle, représenterait la hauteur de l'espace *nuisible*, si cet espace était un cylindre ayant pour base la surface du piston : l'équation de la courbe des pressions de l'air, avant l'ouverture de la soupape d'admission, serait :

$$\frac{p+y}{p}=\frac{H+h}{H+h-x},$$

ou

$$(a) \qquad \frac{y}{p}=\frac{x}{H+h-x}.$$

C'est l'équation d'une hyperbole, qui a pour asymptote une perpendiculaire à l'axe des $x$ menée à la distance $H+h$ de l'origine des axes, qui est aussi celle de la courbe. A l'échelle de l'indicateur, $p$ est représenté par $83^{mm},1$, H par 44 millimètres; $h$ ne nous est pas exactement connu; nous supposerons que $h$ est, en grandeur naturelle, égal à $0^{m},005$, qui, à l'échelle de l'indicateur, sont représentés par $0^{mm},96$. On aurait $H+h=44^{mm},96$. La valeur de $y$ correspondante à l'ouverture de la soupape de refoulée, c'est-à-dire à $x=12^{mm},75$ serait alors, d'après l'équation ($a$), $y=32^{mm},89$ qui représente une pression effective de $0^{atm.},396$, tandis que l'ordonnée des courbes relevées est égale à $37^{mm},75$ en moyenne et représente une pression effective de $0^{atm.},454$. Lors même qu'on ferait abstraction de l'espace nuisible de la pompe alimentaire, l'ordonnée calculée par l'équation $\frac{y}{p}=\frac{x}{H-x}$, serait pour $x=12,75$, $y=33,90$ qui représente une pression de $0^{atm.},408$. Ainsi, les courbes des pressions dans le cylindre alimentaire accusent l'accroissement de la force

élastique de l'air suivant une loi plus rapide que la raison inverse des volumes, et par conséquent l'élévation de température de l'air qui résulte de la compression. En partant de la relation :

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{V_0}{V_1} \times \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_0},$$

ou, très-approximativement, lorsque $t$ et $t_1$ diffèrent assez peu :

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{V_0}{V_1} \times [1+\alpha(t_1 - t_0)],$$

qui existe entre les forces élastiques, les volumes et les températures simultanément variables d'une masse donnée d'air atmosphérique, nous pouvons calculer l'élévation de température $t - t_0$ de l'air dans la pompe alimentaire. L'observation nous donne :

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{1,454}{1} = 1,454;$$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{44,96 - 12,75}{44,96} = 0,7164,$$

en admettant que l'espace nuisible est équivalent à un espace cylindrique de même diamètre que le piston et d'un demi-centimètre de hauteur. Prenant d'ailleurs $\alpha = 0,00367$, nous avons pour l'élévation de température :

$$t_1 - t_0 = \frac{1}{0,00367}(1,454 \times 0,7264 - 1) = \frac{0,0416456}{0,00367} = 11^d,35.$$

Le poids de la masse d'air ainsi comprimé est, en tenant compte de l'espace nuisible, et supposant la température de l'air atmosphérique égale à 20 degrés, d'environ $0^k.343$; une élévation de température de $11^d,35$ représente donc, en admettant pour la chaleur spécifique de l'air le nombre 0.237 donné par les expé-

riences de M. Regnault, une quantité de chaleur communiquée à l'air, égale à $0.343 \times 11,35 \times 0.237 = 0.92265$, l'unité de chaleur étant celle qui est nécessaire pour échauffer d'un degré un kilogramme d'eau.

Si l'on fait abstraction des fuites d'air et des espaces nuisibles dans la machine à air chaud à laquelle se rapportent nos expériences, il sera facile d'établir les relations qui doivent exister entre les surfaces des deux pistons travaillant et alimentaire, les températures et les pressions de l'air atmosphérique et de l'air échauffé dans le cylindre.

Soient en effet :

A la surface du piston travaillant;
B celle du piston du cylindre alimentaire;
L la longueur de la course des deux pistons;
$t$ la température de l'air atmosphérique;
T celle que l'air prend dans le cylindre travaillant, ou plutôt celle qu'il possède à la fin de l'excursion ascendante des pistons, lorsqu'il remplit la totalité du cylindre travaillant;
$p$ la pression de l'atmosphère;
$P'$ la pression de l'air chaud à la fin de la course ascendante du piston;
$\alpha$ le coefficient de dilatation de l'air.

A chaque excursion des pistons, un volume d'air BL, à la pression $p$ et à la température $t$, est puisé dans l'atmosphère et refoulé dans la machine par le piston alimentaire.

Un volume d'air AL, à la température T et sous la pression $P'$, est expulsé du cylindre travaillant et rejeté dans l'atmosphère. Ces deux quantités d'air doivent être égales pour que la machine arrive à une marche régulière. On doit donc avoir la relation :

$$\frac{AL \times P'}{1+\alpha T} = \frac{BL \times p}{1+\alpha t},$$

ou bien :

$$(1) \qquad \frac{P'}{p} = \frac{B(1+\alpha T)}{A(1+\alpha t)}.$$

Mais P' doit être égal ou supérieur à $p$, afin que l'air extérieur ne rentre pas dans le cylindre travaillant avant la fin de la course du piston ; en conséquence, on doit avoir :

$$\frac{A}{B} = \text{ ou } < \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}.$$

Dans le cas de l'égalité entre les deux rapports qui précèdent, la pression finale P', dans le cylindre travaillant, sera exactement égale à la pression extérieure de l'atmosphère.

Les résultats qui précèdent subsistent, quel que soit le rapport entre les deux parties de la course du piston qui correspondent à l'admission de l'air dans le cylindre travaillant et à l'expansion de l'air chaud dans l'intérieur de ce cylindre. En conséquence, la pression finale P', ou plutôt son rapport à la pression atmosphérique $p$, ne dépend que du rapport des surfaces A et B et des températures T et $t$, et nullement de la fraction de la course pendant laquelle la soupape d'admission reste ouverte.

Si l'on désigne par $l$ la longueur de la course du piston correspondante à l'admission de l'air dans le cylindre travaillant, par $T_{,}$ la température de l'air au moment où la soupape d'admission se ferme, par P la force élastique de l'air à la même époque, on aura nécessairement la relation :

$$\frac{AlP}{1+\alpha T_{,}} = \frac{BLp}{1+\alpha t},$$

ou bien :

$$(2) \qquad \frac{P}{p}=\frac{B}{A}\frac{(1+\alpha T_1)}{(1+\alpha t)}\times\frac{L}{l}.$$

Des équations (1) et (2), on tire :

$$\frac{P}{P'}=\frac{1+\alpha T_1}{1+\alpha T}\times\frac{L}{l}.$$

Si les températures $T_1$ et T sont égales, $\frac{P}{P'}=\frac{L}{l}$ (3), si l'on a en même temps $\frac{A}{B}=\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}$, $P'=p$, quel que soit $l$, et par conséquent $\frac{P}{p}=\frac{L}{l}$.

Si l'on conçoit que le réservoir interposé entre le cylindre alimentaire et le cylindre travaillant ait une capacité très-grande par rapport à celle des deux cylindres, la force élastique de l'air, dans ce réservoir, demeurera sensiblement constante quand la machine fonctionnera régulièrement, la pression dans l'intérieur du cylindre travaillant restera invariable et égale à celle du réservoir, pendant toute la durée de l'admission; si l'on admet, de plus, que la température de l'air, dans le cylindre travaillant, demeure égale à T, durant l'admission et l'expansion de l'air, les deux équations :

$$(a) \qquad \frac{P'}{p}=\frac{B(1+\alpha T)}{A(1+\alpha t)},$$

$$(b) \qquad \frac{P}{P'}=\frac{L}{l},$$

s'appliqueront à la machine ainsi composée. P désignant alors la pression qui a lieu constamment dans le réservoir, et, durant l'admission, dans le cylindre travaillant, et P' celle qui a lieu à la fin de la course du pis-

ton, il suffira que l'air ait été comprimé jusqu'à la pression P dans le réservoir, avant la mise en train de la machine, pour que cette pression s'y maintienne indéfiniment; si lors de la mise en train, le réservoir contient de l'air à une pression moindre ou plus grande que P, le jeu même de la machine ramènera la pression à la valeur qui résulte des équations ci-dessus, pourvu que la température T soit donnée. En définitive les équations (*a*) et (*b*) feront connaître les pressions correspondantes aux températures T et *t*, lorsque la machine sera arrivée à la marche de régime.

Cet état atteint, si l'on vient à faire varier l'étendue de l'admission, c'est-à-dire le rapport $\frac{L}{l}$, la température T étant supposée demeurer constante aussi bien que *t*, il en résultera un trouble momentané dans la marche de la machine; la pression dans le réservoir arrivera graduellement au degré qui convient à la valeur nouvelle du rapport $\frac{L}{l}$, et la pression finale P' redeviendra ce qu'elle était d'abord, puisque, dans une marche de régime, elle est indépendante du rapport $\frac{L}{l}$.

L'expression du travail mécanique de l'air sur le système de deux pistons qui se meuvent dans les cylindres ainsi séparés par un réservoir indéfini, est simple et facile à déterminer. Si l'on fait abstraction de la légère élévation de température due à la compression de l'air dans le cylindre alimentaire, la pression de l'air comprimé par le piston de cette pompe variera suivant la loi de Mariotte, et le travail moteur sur le piston du cylindre travaillant, pendant son excursion ascendante, sera exprimé par

$$\mathrm{PA}l + \mathrm{PA}l \log \mathrm{hyp} \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{P'}} - p\mathrm{AL}.$$

Le travail résistant sur le piston du cylindre alimentaire est, dans le même espace de temps, égal à

$$pBL \log hyp \frac{P}{p};$$

la différence

$$PAl + PAl \log hyp \frac{P}{P'} - pAL - pBL \log hyp \frac{P}{p}$$

exprime le travail moteur sur le système des pistons pour une excursion complète, en négligeant, bien entendu, les résistances dues au mouvement de l'air dans les tuyaux de communication, à travers les soupapes et les mailles des toiles métalliques.

En ayant égard aux équations ($a$) et ($b$), l'expression précédente peut être mise sous la forme :

$$\text{(M)} \quad pBL \times \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - pAL + \left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - 1\right) pBL \log \frac{L}{l} - \\ - pBL \log \frac{B(1+\alpha T)}{A(1+\alpha t)}.$$

On voit que pour une machine de dimensions données et des températures déterminées T et $t$, le travail obtenu par coup de piston augmente avec le rapport $\frac{L}{l}$, c'est-à-dire avec l'étendue de la course pendant laquelle l'air se dilate dans le cylindre travaillant, et par conséquent avec la pression P, qui est directement proportionnelle à ce rapport. Dans tous les cas les volumes initial et final de l'air, ainsi que les températures et les pressions de cet air, seront les mêmes, bien que le travail mécanique obtenu puisse être fort différent; donc si l'on admet le principe de la transformation de la chaleur en travail mécanique, il en résultera que la quantité de chaleur absorbée par l'air, en passant du premier état de pression et de température au

second, dépend pour beaucoup des états intermédiaires par lesquels l'air est passé ; c'est aussi ce que mettent en évidence les dernières expériences sur la dilatation des gaz communiquées à l'Académie des sciences par M. Regnault. Quoi qu'il en soit, il paraît que la circonstance la plus favorable à l'économie du combustible est celle où la force élastique finale de l'air dans le cylindre travaillant serait égale à la pression atmosphérique extérieure. Dans ce cas, en effet, l'air chaud, en passant à travers les toiles métalliques pour se répandre dans l'atmosphère, se refroidirait et se contracterait sans changement de pression, abstraction faite de la faible résistance des toiles, et la perte de chaleur serait réduite à celle qui correspond à l'excès de température que l'air conserverait, à la sortie de la machine, sur sa température au moment où il a été puisé dans l'atmosphère. Or nous avons vu que la pression finale P' de l'air sera égale à $p$, si l'on a :

$$\frac{A}{B} = \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}.$$

Alors, les deux premiers termes de l'expression (M) se détruisent, le dernier devient nul, et cette expression se réduit à :

$$pBL\left(\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t} - 1\right)\log\frac{L}{l}.$$

La pression dans le réservoir est donnée par la relation :

$$\frac{P}{p} = \frac{L}{l}.$$

L'expression précédente du travail moteur peut encore, dans le cas qui nous occupe, être mise sous la forme :

$$pAL \log \frac{P}{p} - pBL \log \frac{P}{p} = pL(A - B) \log \frac{P}{p}.$$

Celle-ci met en évidence que le travail moteur est celui qui correspond à l'expansion de l'air dans le cylindre travaillant, diminué de celui qui est absorbé par la compression de l'air, dans le cylindre alimentaire, depuis la pression $p$ jusqu'à la pression P.

Ces résultats fort simples sont modifiés par l'existence des espaces *nuisibles* qu'on ne peut éviter dans le cylindre alimentaire et le cylindre travaillant, et par les dimensions limitées du réservoir intermédiaire.

Les calculs qui suivent donneront une idée de l'influence exercée par ces trois causes. J'appellerai, en conservant toutes les notations qui précèdent, $m$ le rapport de l'espace nuisible du cylindre alimentaire au volume BL engendré par l'excursion du piston, de telle sorte que $m$BL exprime l'espace libre et rempli d'air comprimé qui subsiste entre la soupape de refoulée L et le piston du cylindre alimentaire, lorsque celui-ci est à la partie supérieure de sa course. Je désignerai par $\mu$ et $\nu$ les rapports des espaces nuisibles respectivement inférieur et supérieur au paquet de toiles métalliques, au volume AL engendré par l'excursion du piston travaillant, de telle sorte que $\mu$AL exprimera l'espace compris entre ce piston arrivé à la limite inférieure de sa course et la face inférieure ou interne du paquet de toiles métalliques, et $\nu$AL l'espace compris entre la face opposée du même paquet de toiles métalliques et les soupapes d'admission et d'émission de l'air ; de même je représenterai par $\rho$AL la somme des espaces compris entre les mailles des toiles métalliques. Soient en même temps $t$ la température de l'air extérieur ; T la température de l'air dans le cylindre travaillant et l'espace

$\mu$AL, température que je suppose constante et entretenue par le foyer de la machine, pendant l'admission et l'expansion de l'air; T' la température également constante, par hypothèse, de l'air au moment où il sort de la machine. Soient enfin $p$ la pression atmosphérique, P la pression dans le réservoir, au moment où les pistons ont terminé leur course ascendante, $P_1$ la pression dans ce même réservoir et dans le cylindre travaillant, au moment de la fermeture de la soupape d'admission, P' la pression finale de l'air dans le cylindre travaillant, $l$ la longueur de la course correspondante à l'admission de l'air.

A chaque excursion des pistons, le réservoir reçoit du cylindre alimentaire un volume d'air à la pression $p$ et à la température $t$, qui n'est plus égal à BL, mais seulement à $\mathrm{BL} - m\mathrm{BL}\left(\frac{\mathrm{P}}{p} - 1\right)$. Cette quantité d'air, lorsque la machine est arrivée à une marche de régime, est égale à celle qui est rejetée dans l'atmosphère à chaque coup de piston. Or quand les pistons sont à la limite supérieure de leur course, le cylindre travaillant, y compris l'espace $\mu$AL, renferme un volume d'air AL + $\mu$AL à la pression P' et à la température T.

L'espace nuisible $\nu$AL est rempli d'air à la même pression P', à une température qui doit être assez peu supérieure à $t$ et que nous supposerons effectivement égale à $t$.

Les espaces $\rho$AL sont remplis d'air à la même pression P' et à une température variable, comprise entre T et $t$. Nous supposerons que cela équivaut à un volume d'air $\rho$AL à la température $\frac{\mathrm{T}+t}{2}$.

Lorsque les pistons ont terminé leur excursion des-

cendante, le piston a envahi l'espace AL; l'espace $\mu$AL reste rempli d'air à la pression atmosphérique $p$ et à la température T; l'espace $\nu$AL, rempli d'air à la pression atmosphérique et à la température T'; les espaces $\rho$AL, remplis d'air à la pression atmosphérique et à une température intermédiaire entre T et T', soit $\frac{T+T'}{2}$. En réduisant tous les volumes d'air ci-dessus à la température $t$ et à la pression $p$, on trouve que le volume d'air rejeté dans l'atmosphère par la chute des pistons, ramené à la pression $p$ et à la température $t$, est :

$$AL\frac{P'}{p}\times\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}+\mu AL\left(\frac{P'}{p}-1\right)\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}+\nu AL\frac{P'}{p}-\nu AL\times$$
$$\times\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T'}+\rho AL\frac{P'}{p}\times\frac{1+\alpha t}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}-\rho AL\frac{1+\alpha t}{1+\alpha\frac{T+T'}{2}}$$

Posant, pour abréger :

$$\mu\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}=\mu'; \quad \nu\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T'}=\nu'; \quad \rho\frac{1+\alpha t}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}=\rho';$$
$$\rho\frac{1+\alpha t}{1+\alpha\frac{T+T'}{2}}=\rho'';$$

l'égalité entre les quantités d'air puisées et rejetées dans l'atmosphère à chaque coup de piston fournit l'équation :

$$(1)\quad AL\left[\frac{P'}{p}\frac{1+\alpha t}{1+\alpha T}+\mu'\left(\frac{P'}{p}-1\right)+\nu\frac{P'}{p}-\nu'+\right.$$
$$\left.+\rho'\frac{P'}{p}-\rho''\right]=BL\left[1-m\left(\frac{P}{p}-1\right)\right].$$

Les quantités d'air contenues dans le cylindre travaillant et ses espaces nuisibles, au moment de la fermeture de la soupape d'admission et à la fin de la course,

doivent d'ailleurs être égales entre elles ; cette condition fournit entre les pressions $P'$ et $P_1$ qui ont lieu à ces deux époques la relation suivante :

$$(2) \qquad \frac{P_1}{P'} = \frac{(1+\mu)\dfrac{1+\alpha t}{1+\alpha T} + \nu + \rho'}{\left(\dfrac{l}{L}+\mu\right)\dfrac{1+\alpha t}{1+\alpha T} + \nu + \rho'}.$$

A partir du moment de la fermeture de la soupape d'admission, la totalité de l'air refoulé par le piston du cylindre alimentaire s'accumule dans le réservoir, où la pression augmente graduellement jusqu'à ce qu'elle devienne égale à P. Si l'on admet qu'au moment de la fermeture de la soupape d'admission, la communication soit déjà ouverte entre le cylindre alimentaire et le réservoir, ainsi que cela aura toujours lieu dans la pratique, il est facile de voir que l'on aura entre les pressions P et $P_1$ la relation :

$$(3) \qquad \frac{P}{P_1} = 1 + \frac{B(L-l)}{C+mBL}.$$

Les équations (1), (2) et (3) serviront à déterminer les pressions P, $P_1$ et $P'$, lorsque les dimensions de la machine et les températures seront connues.

La pression finale $P'$ dépend ici de l'étendue $l$ de la course pendant laquelle l'air est admis dans le cylindre travaillant, parce que, en raison de l'espace nuisible $m$BL de la pompe alimentaire, le volume d'air refoulé dans le réservoir par chaque coup de piston dépend de la pression P, qui varie avec l'étendue de l'admission. Si cet espace nuisible n'existait pas, le volume d'air introduit à chaque coup de piston, et par conséquent la pression finale $P'$, resterait indépendante de l'étendue de l'admission, quelle que fût d'ailleurs la capacité

du réservoir. De l'équation (1), on tire :

$$\frac{A(1+\alpha t)}{B(1+\alpha T)}=$$

$$=\frac{1-m\left(\frac{P}{p}-1\right)}{\frac{P'}{p}\left(1+\mu+\nu\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}+\rho\frac{1+\alpha T}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}\right)-\mu-\nu\frac{1+\alpha T}{1+\alpha T'}-\rho\frac{1+\alpha T}{1+\alpha\frac{T+T'}{2}}}.$$

Comme P′ doit toujours être supérieur ou égal à $p$, il résulte de l'expression précédente que $\frac{A(1+\alpha T)}{B(1+\alpha t)}$ doit être inférieur ou égal à

$$\frac{1-m\left(\frac{P}{p}-1\right)}{1+\nu\left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}-\frac{1+\alpha T}{1+\alpha T'}\right)+\rho\left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}-\frac{1+\alpha T}{1+\alpha\frac{T+T'}{2}}\right)}$$

et à plus forte raison plus petit que 1.

Quoique les dessins joints à ce rapport aient été faits avec beaucoup de soin, il est impossible d'en déduire les capacités des espaces nuisibles avec une exactitude suffisante, pour que la comparaison des valeurs des pressions P, $P_1$ et P′ tirées des équations (1), (2) et (3) avec les pressions réellement observées puisse offrir quelque intérêt. D'ailleurs, les températures de l'air dans le cylindre travaillant ne sont pas connues exactement, et les fuites d'air qui avaient lieu dans la machine étaient assez considérables pour altérer notablement les pressions dans le réservoir et le cylindre travaillant. Je me bornerai donc à comparer le travail mécanique transmis aux pistons, tel qu'il est donné

par les courbes de l'indicateur avec le travail calculé par la formule simple que j'ai donnée pour le cas où l'on fait abstraction des fuites d'air, des espaces nuisibles, et où l'on suppose la capacité du réservoir indéfinie. Dans cette formule, savoir :

$$T = pBL\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - pAL + \left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - 1\right) pBL \log\frac{L}{l} - $$
$$- pBL \log\frac{B}{A}\,\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t},$$

je pose :

$p = 1$ kilogr. par centimètre quarré.
$B = 12075$ centimètres quarrés.
$A = 17766$.
$L = 0^{m},23$.

$\frac{L}{l} = \frac{1}{0,78}$. $\alpha = 0,00367$.

J'admets enfin que $T = 300$ degrés et $t = 20$ degrés. En effectuant les calculs numériques d'après ces données, on trouve que le travail mécanique par coup de piston devrait être de 1.217 kilog. élevés à 1 mètre.

Les courbes relevées à l'indicateur accusent, ainsi que nous l'avons vu, un travail mécanique de 568 kilogrammes. Ce nombre est seulement égal aux 0,47 du travail théorique calculé dans l'hypothèse de fuites nulles, et en faisant abstraction des espaces nuisibles. Un travail de 1.217 kilog. élevés à 1 mètre par coup de piston, à raison de 40 coups de piston par minute, ne représenterait qu'une puissance de $10^{\text{chev.-vap.}},8$. Il est donc de toute évidence que la machine apportée au Havre ne pourrait, dans les circonstances même les plus favorables, et en supposant que la température de l'air soit poussée dans le cylindre travaillant jusqu'à 300°, réaliser la puissance de 10 chevaux, que l'on paraît lui avoir attribuée, qu'autant que l'on diminuerait considérablement l'étendue de la course correspondante

à l'admission, ce qui aurait pour résultat un accroissement correspondant de la pression dans le réservoir et dans le cylindre travaillant, accroissement que les pièces de la machine ne sont pas capables de supporter.

Les espaces intermédiaires entre les soupapes d'admission et d'émission et le piston travaillant, arrivé à la limite inférieure de sa course (espaces nuisibles), occasionnent évidemment une perte de travail mécanique d'autant plus considérable que la pression finale P′ est plus élevée au-dessus de la pression extérieure avec laquelle ces espaces et le cylindre travaillant sont mis en communication pendant la chute des pistons. Il importe donc d'autant plus de pousser l'expansion de l'air jusqu'à son extrême limite, que, dans le système de construction des machines à air chaud d'Ericsson et autres fondées sur le même principe, qui ont été jusqu'ici proposées et essayées, les espaces nuisibles ont une capacité considérable. Or, si au lieu de laisser l'air, à la sortie de la machine, s'écouler dans l'atmosphère, on faisait déboucher le tuyau d'émission dans un réservoir où la pompe alimentaire puiserait exclusivement l'air nécessaire à l'entretien du jeu de la machine, de telle sorte que le même air circulât constamment du cylindre travaillant au cylindre alimentaire, et de celui-ci au cylindre travaillant, il est clair que la machine se trouverait ainsi comme isolée de l'atmosphère extérieure et transportée dans l'atmosphère du réservoir dont nous venons de parler.

Un pareil système comporterait deux réservoirs : l'un contenant de l'air à une pression $p$ et une température $t$. L'air serait puisé dans ce réservoir par la pompe alimentaire et refoulé dans un autre réservoir où la pression serait supérieure à $p$. De celui-ci il irait au cylindre travaillant, en traversant les toiles métal-

liques chauffées par un foyer extérieur; sa température s'élèverait dans ce passage. L'admission serait interrompue en un point de la course du piston, tel que la pression finale dans le cylindre travaillant fût peu supérieure à $p$; l'air chaud, ainsi dilaté, reviendrait au premier réservoir en traversant les mêmes toiles métalliques, auxquelles il abandonnerait une partie de sa chaleur suffisante pour le ramener à une température très-voisine de $t$, et on pourrait lui enlever le petit excès de température qu'il conserverait encore, en le faisant circuler dans un appareil réfrigérant.

S'il est vrai, comme tout porte à le penser, qu'un travail mécanique produit entraîne la disparition d'une quantité de chaleur correspondante, on concevra qu'un système semblable puisse être combiné, et l'activité du foyer extérieur appliqué aux toiles métalliques ménagée de telle sorte que les températures et les pressions restent constantes dans les deux réservoirs, et que le jeu de la machine soit parfaitement régulier. La chaleur transmise par le foyer serait employée à compenser les pertes dues au refroidissement extérieur et à fournir la chaleur correspondante au travail mécanique développé. Une partie seulement de celui-ci serait transmise aux pistons, le surplus étant absorbé soit par les résistances passives, soit par la dilatation qui résulte de l'existence de l'espace *nuisible*, intermédiaire entre le réservoir d'air comprimé et le cylindre travaillant. On peut se faire une idée de la perte de travail occasionné par l'existence de cet espace nuisible, de la manière suivante :

Concevons un réservoir indéfini où la pression soit égale à P. Si l'on met ce réservoir en communication avec l'extrémité d'un cylindre contenant un piston, et que l'on suppose nul l'espace *nuisible*, c'est-à-dire

l'espace compris entre le piston, le fond du cylindre et le réservoir, au moment où la communication est établie, que l'on désigne par $v$ le volume d'air admis dans le cylindre à pleine pression, et par V le volume total que prend l'air pendant que le piston continue à monter, pressé par l'air qui se dilate, l'expression de la quantité de travail transmise au piston, en supposant que la force élastique de l'air varie, pendant l'expansion, suivant la loi de Mariotte, en raison inverse des volumes, sera :

$$(1) \qquad Pv + Pv \log \frac{P}{p},$$

$p$ étant la pression correspondante au volume V, de telle sorte que $Pv = pV$. Supposons maintenant qu'il existe entre le réservoir d'air à la pression P, et le fond du cylindre et le piston un espace *nuisible* égal à $\mu V$, et qui, au moment où l'on établit la communication entre le réservoir et le cylindre, soit rempli d'air à la pression finale $p$. Supposons aussi que, la course totale du piston restant exactement la même que dans le premier cas, on règle l'admission de l'air à pleine pression, de manière que la pression finale $p$ reste encore la même, et par conséquent aussi la dépense d'air. Soit $v'$ le volume délaissé par le piston au moment où l'admission est supprimée. Le travail transmis au piston, dans cette deuxième supposition, et en admettant toujours que la force élastique de l'air varie en raison inverse des volumes, sera :

$$(2) \qquad Pv' + P(v' + \mu V) \log \frac{P}{p}.$$

Il existera entre les volumes $v'$ et $v$ la relation exprimée par l'équation :

$$(3) \qquad \frac{v' + \mu V}{V + \mu V} = \frac{v}{V} \quad \text{ou} \quad v - v' = \mu(V - v).$$

L'excès du travail (1) sur le travail (2) sera la mesure de la perte de travail occasionnée par l'existence de l'espace nuisible, puisque les quantités d'air dépensées, les pressions initiale et finale sont les mêmes dans les deux cas; cet excès est égal à

$$P(v-v')+P(v-v'-\mu v)\log\frac{P}{p},$$

expression qui, en ayant égard à l'équation (3) et à la relation $pV=Pv$, devient :

$$\mu PV\left[1-\frac{p}{P}\left(1+\log\frac{P}{p}\right)\right].$$

Le rapport du travail perdu par l'effet de l'espace nuisible au travail total est, en conséquence :

$$\frac{\mu PV\left[1-\frac{P}{p}\left(1-\log\frac{P}{p}\right)\right]}{Pv\left(1+\log\frac{P}{p}\right)}=\mu\left(\frac{\frac{P}{p}}{1+\log\frac{P}{p}}-1\right)$$

eu égard à ce que $\frac{V}{v}=\frac{P}{p}$.

Ce rapport égal à o pour $P=p$, augmente constamment avec $\frac{P}{p}$ et devient infini en même temps que P. Ainsi la perte proportionnelle de travail occasionnée par l'espace nuisible augmente avec la pression P.

Si, dans les machines à air, il importe de diminuer la pression P, pour atténuer la perte de travail due à l'espace nuisible qui paraît toujours devoir être assez grand, il importe d'un autre côté, afin de ramener ces appareils à des dimensions convenables et rapprochées de celles des machines à vapeur usitées, d'augmenter cette pression, ce qui peut présenter d'assez grandes difficultés pratiques.

M. Ericsson paraît avoir reconnu lui-même la convenance de modifier complétement sa machine à air chaud dans le sens qui vient d'être indiqué. L'air ne serait plus renouvelé dans le système à chaque coup de piston; la pression initiale serait poussée plus loin, sans que la température dépassât notablement 270 à 300 degrés; le cylindre travaillant serait complétement fermé et le piston alternativement pressé sur ses deux faces par l'air chaud, comme dans les machines à vapeur à double effet. Les détails de construction qu'il a adoptés, nous sont encore inconnus.

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

En résumé, les expériences que j'ai faites sur la machine montée dans les ateliers de MM. Mazeline, montrent que, lorsque des toiles métalliques sont traversées par un courant d'air à une température différente de la leur, elles lui cèdent ou lui prennent, en un intervalle de temps très-court, une grande partie de la chaleur qui correspond à la différence des températures; que, de plus l'air, en traversant ces toiles superposées, n'éprouve qu'une très-faible résistance, lorsque sa vitesse ne dépasse pas une certaine limite, qui est assez élevée. Dans la machine objet des expériences, cette résistance était fort petite, quand le volant faisait 40 révolutions par minute. Dans ces circonstances, $0^{mc},4086$ d'air chaud à une pression de $1^{atm.},25$ étaient expulsés à travers le paquet de toiles qui avait $0^{m},22$ d'épaisseur, pendant la chute du piston moteur, chute dont la durée était à peu près de 3/4 de seconde. La section droite de l'espace occupé par les toiles était de $0^{m},40 \times 0^{m},60 = 0^{mq},24$. Si cet espace eût été entièrement libre, l'air l'aurait traversé avec une vitesse moyenne de $2^{m},27$ ou $2^{m},84$ par seconde, suivant qu'on prend

son volume à la pression de $1^{atm},25$ ou à la pression extérieure de l'atmosphère.

La température fort élevée que l'air conservait à sa sortie de la machine doit être attribuée en grande partie à la très-mauvaise disposition des soupapes d'admission et d'émission de l'air.

Les toiles métalliques disposées en paquet, comme dans la machine d'Ericsson, semblent devoir remplacer avec avantage les appareils à chauffer l'air dont on fait usage, depuis plusieurs années, dans un grand nombre d'ateliers métallurgiques et particulièrement d'usines à fer.

Les fuites d'air extrêmement fortes qui avaient lieu dans la machine du Havre, pour peu que la pression devînt un peu supérieure à celle de l'atmosphère extérieure, sont l'effet de vices de construction dont quelques-uns pourront être facilement évités; d'autres fuites, telles que celles qui ont lieu entre les parois du cylindre travaillant et la garniture du piston moteur, ne pourront être supprimées qu'au moyen de dispositions particulières, qui ne paraissent pas avoir été encore réalisées.

La machine du Havre, dans l'état où elle se trouve, ne peut fournir un travail disponible supérieur à 3 ou 4 chevaux; lors même qu'elle serait parfaitement construite et installée, le travail mécanique transmis au système des pistons serait inférieur à 10, et le travail disponible probablement inférieur à 6 chevaux-vapeur, à moins qu'on ne poussât la pression dans le réservoir fort au delà d'une atmosphère et demie.

Mes expériences n'infirment en rien et semblent, au contraire, confirmer les principes théoriques sur lesquels s'appuient plusieurs physiciens, pour établir qu'une machine à air chaud, combinée de manière que

la plus grande partie de la chaleur contenue dans l'air, à sa sortie de la machine, soit recueillie pour être transmise à l'air qui entre dans la période de mouvement suivante, pourra être beaucoup plus économique, sous le rapport de la dépense de combustible, que les machines à vapeur d'eau même les plus parfaites. Mais on peut aussi en conclure que la machine de M. Ericsson, telle que nous la connaissons par l'échantillon que nous avons vu et les descriptions qui en ont été publiées, devra être profondément modifiée dans ses dispositions les plus essentielles, avant qu'elle puisse remplacer dans l'industrie la machine à vapeur d'eau. L'inventeur lui-même paraît avoir reconnu la nécessité de cette transformation, et s'occupe actuellement de la réaliser.

Ma dernière conclusion est que rien ne saurait être plus utile, pour l'avancement de nos connaissances dans la théorie dynamique de la chaleur, le perfectionnement des machines qui tirent de cette source leur puissance motrice, et par conséquent pour le progrès de l'industrie en général, que de provoquer par des primes, des prix proposés ou tout autre mode d'encouragement, la construction ou l'importation de machines à air chaud appliquées à un travail manufacturier régulier, et placées dans des circonstances telles qu'elles puissent être le sujet d'expériences et d'observations suivies par des physiciens ou ingénieurs, préparés par leurs études antérieures à accomplir fructueusement un travail de ce genre.

---

*P. S.* Les observations dont les résultats sont exposés dans ce rapport exigeaient le concours de plusieurs personnes. J'ai eu l'avantage d'être secondé par mon collègue, M. le professeur Rivot; M. Em. Lissignol,

ancien élève externe de l'École impériale des mines, aujourd'hui attaché aux ateliers de MM. Mazeline frères, a bien voulu me prêter aussi son assistance. MM. Mazeline m'ont libéralement procuré tous les secours et toutes les facilités compatibles avec l'ordre de leurs travaux. Je prie ces habiles constructeurs et mes collaborateurs d'agréer l'expression de ma gratitude.

Après que mes expériences ont été terminées, une commission nommée par S. Exc. M. le ministre de la marine et présidée par M. le capitaine de vaisseau Pâris, en a exécuté de nouvelles sur la même machine. Celles-ci ont été dirigées, en général, dans le même sens que les miennes et faites avec des appareils semblables; elles ont été plus complètes, parce que les soudures de tous les tubes, où étaient logés les thermomètres, ont résisté jusqu'à la fin. Le thermomètre placé dans le tube ξ, qui pénètre dans l'espace situé en dessous des toiles métalliques, a été installé de manière que l'on a pu lire ses indications. Voici quelques-uns des résultats obtenus par la commission de la marine, que M. Pâris a eu la bonté de me communiquer.

La machine était en activité depuis 2 heures environ; le frein chargé de 23$^{k.}$,20 agissant à l'extrémité d'un bras de levier de 2 mètres; l'arbre du volant faisait 40 révolutions par minute; la pression de l'air, dans le réservoir, oscillait entre 0$^{atm.}$,45 et 0$^{atm.}$,55 au-dessus de l'atmosphère. Les températures accusées par les thermomètres étaient les suivantes :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 251 |
| β. . . . . . . . . . | 82 |
| γ. . . . . . . . . . | 314 |
| δ. . . . . . . . . . | 144 |
| ξ. . . . . . . . | 328 |

L'air sortait par la tubulure contenant le papillon U, à la température de 107 degrés.

Cette observation concorde bien, comme on le voit, avec les miennes, et peut servir à les compléter.

*Autre observation.*

Le frein est chargé de $30^{k\cdot},90$ agissant à l'extrémité d'un bras de levier de 2 mètres; l'arbre du volant fait 38 révolutions par minute; la pression de l'air, dans le réservoir, oscille entre $0^{atm\cdot},46$ et $0^{atm\cdot},58$ au-dessus de l'atmosphère. Les températures accusées par les thermomètres sont :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 263 |
| ϐ . . . . . . . . . | 87 |
| γ. . . . . . . . . . | 335 |
| δ. . . . . . . . . . | 150 |
| ξ. . . . . . . . . . | dépasse 400 degrés. |

L'air sortant est à la température de 118 degrés.

La commission de la marine a supprimé la communication directe du tuyau de refoulement de la pompe alimentaire avec la boîte renfermant les toiles métalliques, de manière que l'air refoulé fut obligé de traverser le réservoir, avant d'arriver à la machine. Elle a placé un thermomètre destiné à indiquer la température de l'air dans l'intérieur du réservoir. Dans cet état de choses, le frein étant chargé de $22^{k\cdot},90$ à 2 mètres de distance de l'axe, la pression dans le réservoir oscillant entre $0^{atm\cdot},41$ et $0^{atm\cdot},52$, le volant faisait 36 révolutions par minute. Les températures accusées étaient :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 242 |
| ϐ. . . . . . . . . . | 84,5 |
| γ. . . . . . . . . . | 309 |
| δ. . . . . . . . . . | 141 |
| ξ. . . . . . . . . . | 339 |

L'air était à la température de 67 degrés dans le réservoir et sortait de la machine à la température de 105 degrés.

La commission a, en outre, supprimé la moitié environ des toiles métalliques du régénérateur et déplacé le mentonnet fixé sur la tige de la soupape d'admission, de façon que cette soupape, au lieu de se fermer aux 0,78, se fermât aux 0,653 de la course ascendante des pistons. Voici les résultats de l'une des observations recueillies dans cet état de l'appareil.

Le frein est chargé de 17k.,190 à 2 mètres de distance de l'axe; la pression, dans le réservoir, oscille entre 0atm.,50 et 0atm.,65 au-dessus de l'atmosphère; le volant fait 42 révolutions par minute. Les températures accusées par les thermomètres sont :

| | degrés. |
|---|---|
| α. . . . . . . . . . | 217 |
| 6. . . . . . . . . . | 92 |
| γ. . . . . . . . . . | 285 |
| δ. . . . . . . . . . | 153 |
| ξ. . . . . . . . . . | 320 |

L'air était, dans le réservoir, à la température de 71 degrés et sortait de la machine à 142 degrés.

Il ne serait pas possible de retracer ici, même de la manière la plus succincte, l'histoire des tentatives qui ont été faites, pour substituer l'air échauffé à la vapeur d'eau, comme agent de transmission de la puissance motrice de la chaleur. Mais il me semble utile de donner quelques indications sur ceux des appareils proposés ou essayés, dans ces dernières années, qui offrent de l'analogie avec la machine du capitaine Ericsson. En 1836, M. Franchot a publié, dans le bulletin du mois de mars des travaux de l'Académie nationale agricole, manufacturière et commerciale, un projet de machine à air, qui avait pour organe essentiel un appareil composé

d'un grand nombre de tuyaux métalliques juxtaposés et à parois minces, appelé caléfacteur. L'air chaud sortant de la machine, après avoir agi sur un piston, s'écoulait par la moitié de ces tuyaux, en même temps que l'air qui devait agir, dans la période de mouvement suivante, entrait par les autres tuyaux contigus et entremêlés avec les premiers; les courants d'air entrant et sortant étaient ainsi subdivisés en plusieurs courants à sections transversales de petites dimensions, et qui, durant leurs trajets en sens inverse dans les deux séries de tubes du caléfacteur, n'étaient séparés l'un de l'autre que par des cloisons métalliques minces. L'air échauffé devait donc céder, à sa sortie, une grande partie de sa chaleur à l'air froid, qui allait le remplacer dans la machine.

MM. James Stirling, de Dundee, ingénieur, et Robert Stirling, docteur en théologie à Galston, dans l'Ayrshire, ont pris, vers la fin de l'année 1840 ou au commencement de 1841, une patente pour des machines à air chaud; un extrait de la spécification a été inséré dans le volume XXXIV, avril 1841, du *Mechanics' Magazine* de Londres. Les détails donnés dans le journal anglais sont très-confus et difficilement intelligibles; toutefois il est clairement expliqué que l'appareil de MM. James et Robert Sterling consiste essentiellement en une capacité fermée en fonte, dans l'intérieur de laquelle se meut un refouloir, qui la remplit aux 5/6. L'une des extrémités de cette capacité est chauffée: l'autre est maintenue à une basse température. Lorsque le refouloir est poussé vers l'extrémité froide, l'air contenu dans la capacité se porte vers l'extrémité chaude, en passant à travers un grand nombre de feuilles métalliques minces, qui sont placées dans une boîte particulière, unie à la première capacité par des tuyaux de communication,

et qui reçoit aussi l'action du foyer. Lorsque, au contraire, le refouloir est poussé vers l'extrémité chauffée, l'air échauffé passe vers l'extrémité opposée, en traversant en sens inverse le même système de feuilles métalliques, et en passant sur un appareil réfrigérant, formé de plusieurs rangées de petits tuyaux en cuivre où circule de l'eau. Un appareil de ce genre étant adapté à chacune des extrémités du cylindre *travaillant* d'une machine à air, produira le mouvement, par suite des expansions et condensations alternatives de l'air qu'il renferme, occasionnées par les déplacements alternatifs des deux refouloirs en sens inverse l'un de l'autre. Les auteurs réclament comme leur invention, entre autres choses, la construction de machines à air dans lesquelles l'air, en allant de l'extrémité échauffée du réservoir à l'extrémité froide, traverse d'abord un système étendu de surfaces auxquelles il cède de la chaleur, et ensuite un appareil réfrigérant à grande surface, maintenu à une basse température par des courants fluides, et où l'air, en revenant de l'extrémité froide à l'extrémité chauffée du réservoir, traverse le même système de surfaces, sur lesquelles il reprend de la chaleur.

M. Franchot, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences le 10 août 1840, a donné la description d'une machine qu'il avait exécutée et essayée sur de petites dimensions, et qui offre beaucoup d'analogie avec l'appareil de MM. Stirling. Elle se compose de deux capacités cylindriques, dont les extrémités opposées sont maintenues à des températures distantes entre elles de 250 à 300 degrés; des refouloirs mobiles dans ces capacités, obligent, par leurs déplacements alternatifs, l'air qu'elles renferment à se porter de l'extrémité froide à l'extrémité chaude et

*vice versâ;* il résulte des températures inégales que prennent les masses d'air égales contenues dans les deux capacités, des différences de pressions qui déterminent le mouvement rectiligne alternatif d'un piston dans un cylindre alésé, lequel communique, par ses deux bouts, avec les extrémités froides des capacités où se meuvent les refouloirs. Le passage de l'air d'une extrémité de celles-ci vers l'extrémité opposée, s'opère par l'intérieur des refouloirs, soit, est-il dit dans le mémoire, « en glissant entre les surfaces concentriques, » soit en parcourant un canal intérieur rempli de toiles » métalliques ou de fragments de métal très-divisés. » M. Franchot annonce s'être assuré par l'expérience, que l'échange de chaleur entre l'air et le métal s'opère dans un temps très-court, de sorte que l'air cède, dans son passage de l'extrémité chaude à l'extrémité froide, la plus grande partie de sa chaleur au métal, pour la reprendre, dans le trajet, en sens inverse.

L'extrait de la spécification de la patente de MM. James et Robert Stirling, publié dans le vol. XXXIV du *Mechanics' Magazine*, renferme aussi l'indication de refouloirs creux et remplis de feuilles minces et rapprochées, pour faciliter l'échange de chaleur. Mais les feuilles minces, dont MM. Stirling font usage, sont des feuilles de verre alternativement uni et cannelé, en bandes étroites dont la largeur n'excède pas un pouce. « These plates consist of alternate sheets of plain and fluted glass, in narrow strips not exceeding an inch in width, which accurately fill up the interior space of the driver. »

Le volume XLV (décembre 1846) du *Mechanics' Magazine*, page 559, rend compte d'une communication, qui avait été faite antérieurement à l'institution des ingénieurs civils par M. James Stirling, au sujet

d'une machine à air établie sur les principes exposés dans la patente de 1840, et que l'on a substituée à une ancienne machine à vapeur, dans les ateliers de la compagnie de la fonderie de Dundee. La nouvelle machine à un cylindre de 16 pouces de diamètre ; la course du piston est de 4 pieds, le nombre de coups de 28 par minute. Elle fonctionne continuellement depuis plus de deux ans, d'une manière très-satisfaisante.

L'auteur de la communication dit que le principe de l'échauffement et refroidissement alternatifs de l'air, par son passage à travers des lames métalliques minces, a été posé et essayé par M. Robert Stirling, il y a environ trente ans. Les moyens à l'aide desquels on a réussi, en dernier lieu, à en faire une application effective, consistent surtout dans la mise en œuvre de divers procédés, par lesquels on est parvenu à prévenir les fuites d'air par les boîtes en cuir des tiges des pistons, à employer l'air sous une pression assez élevée pour que les dimensions de la machine aient pu être convenablement réduites, et dans l'usage d'un appareil réfrigérant, qui enlève la chaleur perdue et ramène l'air à une température suffisamment basse.

Dans la machine de la fonderic de Dundee, la pression de l'air est très-élevée et atteint parfois 16 atmosphères. La température de l'air, quand il est chauffé, est portée à 650° (343 1/3 deg. centig.); après qu'il a traversé les passages capillaires ménagés à travers les lames métalliques minces et l'appareil réfrigérant, elle est abaissée à 150° (65 1/2 degrés centigrades). La pression varie, à chaque coup de piston, de 160 à 240 livres avoir du poids par pouce carré (de $11^{k.},24$ à $16^{k.},86$ par centim. carré, soit de 11 à 16 atm.). Le cylindre dans lequel se meut le piston *travaillant* est mis en communication avec les extrémités froides

des capacités contenant les refouloirs, de sorte que ce cylindre demeure constamment rempli, et le piston est en contact avec de l'air à la température de 150° (65 1/2 deg. centig.).

La puissance moyenne nécessaire pour mettre en mouvement les mécanismes des ateliers de la fonderie, a été trouvée être d'environ 70.000 livres avoir du poids élevées à un pied par minute (10.611$^{k.}$,64 élevés à un mètre par seconde, soit 21 chevaux-vapeur). La quantité d'eau qui traverse l'appareil réfrigérant, est de 4 pieds cubes (113 litres) par minute; elle est échauffée de 16 à 18° (9 à 10 deg. centig.). La consommation de houille pour le chauffage de l'air, est de 600 livres avoir du poids en 12 heures (22$^{k.}$,67 par heure), c'est-à-dire un peu plus d'un kilogramme par heure et par force de cheval. Les déperditions d'air par les diverses parties de la machine, et notamment par les boîtes des tiges des pistons, sont peu importantes, suivant M. James Stirling. Il y est pourvu par une pompe de compression mue par la machine, qui foule de l'air dans un réservoir où elle entretient une pression constante. Chacune des capacités contenant les refouloirs reçoit de ce réservoir le supplément d'air nécessaire pour compenser les pertes, au moyen d'une soupape qui fonctionne d'elle-même.

Il ne paraît pas que, malgré les résultats avantageux annoncés par M. James Stirling, dans la communication faite en 1846, la machine à air chaud de MM. Stirling ait été employée dans les ateliers et usines de la Grande-Bretagne, plus que celle de M. Franchot ne l'a été en France ou ailleurs.

Ce dernier a conçu, en 1848, un autre système de machine à air chaud, dont il a fait exécuter un modèle, et qui ne comporte ni tiroirs, ni soupapes, ni refouloirs

ou déplaceurs. Des quantités d'air déterminées sont enfermées entre des pistons mobiles, dans deux cylindres accouplés, dont l'un est chauffé et l'autre froid, et qui communiquent ensemble par des espaces qu'occupent en partie des paquets de toiles métalliques. Ces quantités d'air éprouvent, dans le jeu de l'appareil, des variations continues et graduelles de volume, de température et de pression, et repassent périodiquement par les mêmes états successifs, sans cesser d'agir sur les pistons et sans subir aucun changement brusque de pression ou de volume; il ne paraît donc pas que le nouveau système de M. Franchot puisse donner lieu à aucune perte de travail occasionnée par l'influence des espaces *nuisibles*. Mais tandis que, dans sa machine à refouloirs, comme dans celle de MM. Stirling, le piston travaillant n'est jamais en contact qu'avec de l'air froid, l'un des pistons de sa nouvelle machine est constamment chauffé, et en contact avec de l'air échauffé sur les deux faces.

Je ne donnerai pas ici plus de détails sur les nouvelles dispositions imaginées par M. Franchot : j'espère qu'il les fera lui-même connaître au public, après l'achèvement et l'essai d'une machine de la puissance de 30 chevaux, qui est heureusement aujourd'hui en voie d'exécution.

---

## BULLETIN.

### DEUXIÈME SEMESTRE 1853.

### Sur la fabrication du cuivre blanc en Chine.

Ta-lé-Foù, le 23 décembre 1851.

Messieurs,

Mission du *Yûn-Nân.* — A MM. les membres des conseils de l'œuvre de la propagation de la Foi à Lyon et à Paris.

Il y a quelques années, vous adressâtes aux Missions catholiques une lettre que je n'ai eu occasion de lire qu'une seule fois, mais dont le souvenir ne s'est jamais effacé de ma mémoire. Dans cette lettre, qui était de nature à faire une profonde impression par la largeur et l'élévation des idées, vous recommandiez aux missionnaires de recueillir avec soin toutes les données qui pouvaient intéresser la science, à quelque titre que ce fût, les procédés ingénieux employés par les différents peuples dans leurs systèmes si multipliés et parfois si curieux d'industrie; à l'appui de cette recommandation, vous nous rappeliez les services si incontestables, les sacrifices si généreux de l'Europe pour le soutien de nos églises naissantes; c'était pour le moins une dette de reconnaissance que nous devions acquitter par tous les moyens possibles. Pour ma part, je puis vous l'assurer, messieurs, je pris bonne note de votre recommandation, et je me promis d'y être fidèle si l'occasion s'en présentait.

J'étais dans cette disposition, lorsque je fus envoyé à Canton, en 1847, pour les affaires de la mission du *Yûn-Nân*. Peu de temps après mon arrivée à *Hong-Kong*, il me fut dit un mot qui a provoqué la lettre que j'ai l'honneur de vous adresser aujourd'hui; je vous demande la permission de rappeler ici une petite circonstance qui elle-même a fait prononcer ce mot.

Un soir, je causais dans ma chambre avec M. Libois; la nuit allait venir. Le domestique de la procure vint apporter de la lumière, comme c'était son devoir et sa coutume. Je fus frappé de l'éclat que jetait la lampe, et comme notre conversation n'avait rien d'important pour l'heure, je l'interrompis pour dire à M. Libois : Je vous fais mes compliments sur la propreté de vos domestiques; voici une lampe comme on n'en rencontre

guère en Chine. Cette lampe était de cuivre blanc, assez bien travaillée. A propos, me répondit M. Libois, savez-vous que nos Européens ignorent encore ce que c'est que le cuivre blanc? Vous, qui venez du *Yûn-Nân*, pourriez-vous me dire si c'est un cuivre blanc par sa nature ou s'il le devient par le travail de l'homme?..... Je vous avouerai simplement, messieurs, que mes connaissances en métallurgie ne s'étendaient pas si loin : je fus donc obligé de confesser mon ignorance. M. Libois insista fortement pour que je lui promisse de prendre des informations à ce sujet quand je serais de retour au *Yûn-Nân*. Je le lui promis, et je rentrai en Chine avec l'intention de tenir parole.

Malheureusement, la position qui me fut faite lors de mon retour au *Yûn-Nân*, en avril 1848, ne me permettait point de m'occuper de cuivre. Je fus envoyé dans le district le plus oriental de la province, au point précisément le plus éloigné des pays où se fait le cuivre blanc. Cependant je ne perdis pas cette affaire de vue. Sur la fin de cette année 1848, j'écrivis à un prêtre chinois, M. Étienne Tâng, pour le prier de prendre des informations. Il me répondit qu'il interrogerait lui-même les ouvriers sur les lieux. Alors je lui adressai une série de douze ou treize questions qui avaient trait soit à l'extraction, soit à la confection du cuivre blanc. Par un de ces contre-temps dont l'histoire du monde est remplie, le courrier qui portait ma lettre au P. Tâng lui en remit une autre de monseigneur de Philomélie qui lui ordonnait de se rendre à la capitale de la province. Il ne put donc pas me donner de réponse sur les questions que je lui avais faites. Les deux années suivantes, il ne m'a pas été possible de conduire à bonne fin les recherches que j'avais entreprises; je n'ai pas quitté la partie orientale de la province, et d'ailleurs j'ai été distrait par tant d'occupations que la question du cuivre blanc ne me revenait que rarement à l'esprit.

Mais voici que cette année j'arrive enfin dans cette partie occidentale du *Yûn-Nân*, où mes désirs me portaient depuis longtemps. En juin dernier, je passai successivement par *Li-Mâ-Hô*, *Loù-Tchăng*, *Lì-Kŷ-Tchàn* et autres lieux qui sont renommés en Chine pour leurs mines de cuivre blanc. Mais, comme je l'ai dit, je ne faisais que passer; j'interrogeai pourtant; je recueillis quelques notions que j'ai reconnues plus tard exactes à la vérité, mais très-incomplètes. J'interrogeais alors

comme voyageur; je n'écrivis rien, parce que je savais que dans quelques mois je reverrais ces contrées. En effet, en octobre j'ai revu *Li-Kŷ-Tchân* et plusieurs des mines dont ces pays abondent. Cette fois j'interrogeais encore et je prenais des notes; mais je m'aperçus bientôt qu'on ne m'indiquait que la partie grossière et matérielle de l'opération et qu'il y avait, si je puis ainsi parler, un fin mot que l'on taisait par ignorance ou mauvaise volonté. Je pris donc le parti d'aller moi-même dans les mines pour tout voir de mes yeux; je fis part de mon dessein à quelques chrétiens qui m'en détournèrent par plusieurs raisons dont la meilleure était qu'un passage rapide dans les mines et autour des fourneaux ne m'apprendrait pas grand'chose et que je n'en deviendrais pas plus savant. L'un d'eux, qui est fort lettré, me dit qu'il connaissait tous les ouvriers d'une mine nommée *Loù-Koù-Tchāng;* que si j'agréais son dessein, il irait lui-même voir et interroger et me rapporterait ensuite ce qu'il aurait appris. C'était dans la route qui conduit à *Loù-Koù-Tchāng* qu'il me tenait ce langage. Je trouvai ce conseil sage. Dès que nous fûmes arrivés à l'auberge, nous commençâmes à écrire, dans l'écurie qui avait l'honneur de nous servir de chambre, les questions auxquelles je désirais avoir une réponse. Si j'entre dans tous ces petits détails, messieurs, c'est pour une raison dont vous apprécierez la justesse, j'en ai la confiance. Cette raison, la voici : S'il est vrai qu'on ne connaisse pas encore en Europe l'opération par laquelle on obtient le cuivre blanc, il pourrait se faire que, sur les renseignements que je transmets un peu plus bas, quelqu'un fît l'expérience, et que ne réussissant pas à son gré, il m'accusât de recevoir et d'écrire des notions incomplètes ou mensongères. Je me consolerais facilement du reproche. Mais enfin s'il est possible de l'éviter, pourquoi ne pas le faire? En vous faisant connaître la manière dont j'ai obtenu mes renseignements, les organes qui me les ont transmis, les circonstances dans lesquelles ils ont été reçus, vous en apprécierez plus facilement la valeur et le degré de confiance qu'ils méritent. Je reviens à mon histoire.

Le lendemain, nous arrivâmes de bonne heure à *Loù-Koù-Tchāng*, plus connu sous le nom de *Kieôu-taò-Keôu*, qui est une mine renommée moins pour la qualité que pour la quantité du cuivre blanc qu'elle produit. Dans ma route je remis 20 fr. au lettré dont j'ai parlé plus haut, en lui expliquant encore une

fois le but et le genre des renseignements que je désirais. Pour plus de précautions je lui adjoignis un catéchiste qui est à ma suite et que je crois digne de confiance. Je voulus même leur enseigner la marche à suivre pour obtenir des notions certaines; j'allais leur indiquer quelque ruse quand le lettré me tira d'embarras en disant que sous le rapport des tours de force il n'y avait pas lieu d'en apprendre aux Chinois. Il avait raison; je dus donc m'abstenir. A *Kieóu-taò-Keóu* nous prîmes le déjeuner à l'auberge. Le maître me regarda longtemps, mais sans m'interroger; car bien que nous soyons habillés en Chinois des pieds à la tête, la métamorphose n'est jamais telle qu'un œil exercé d'aubergiste puisse s'y méprendre; d'ailleurs j'avais huit ou dix personnes à ma suite, et l'on ne voit pas tous les jours à *Kieóu-taò-Keóu* un voyageur entouré de tant de pages. Quand je fus parti l'aubergiste s'empressa de demander à mes deux hommes qui j'étais. Je vous le dirai en confidence, répondit le lettré, quand vous m'aurez assuré de ne pas divulguer mon secret. Sur la promesse qui lui est faite d'une entière discrétion, le lettré répond: C'est un homme venu du *Kiâng-Lân;* il est puissamment riche, il veut entreprendre le commerce du cuivre; mais il ne sait pas encore quelle mine il exploitera; il vient voir, il vient examiner par lui-même, et nous laisse ici tous les deux pour prendre de nouveaux renseignements... L'aubergiste au comble de la joie, car il sait bien que les ouvriers des mines n'ont pas fait vœu de ne jamais boire de vin, ne se possède plus; il prend un mauvais prétexte pour quitter mes gens et sort. Le lettré savait bien où il allait. Moins d'une demi-heure après, arrivent dans l'auberge trois ouvriers-maîtres pompeusement habillés. Comme ils avaient sans doute reçu un signalement, ils s'avancent d'un pas ferme et assuré vers la table où mes deux hommes prenaient le thé, et du plus loin qu'ils les *aperçurent* ils commencent ces grandes salutations chinoises qui déplacent un volume d'air assez considérable pour faire tourner un moulin à vent. Ils acceptent de bonne grâce une invitation de s'asseoir et de boire une tasse de thé. Ils feignent alors d'avoir reçu une lettre qui leur annonce qu'un homme riche du *Kiâng-lôu* passera prochainement par *Kieóu-taò-Keóu*, et qu'il a l'intention d'employer une partie de ses capitaux à l'exploitation du cuivre; ils ont osé prendre la liberté de venir demander si le contenu de cette lettre est vrai. Le lettré, qui les a écoutés avec un grand sang-froid, répond

que le contenu de la lettre est parfaitement exact; que seulement il est regrettable qu'ils ne soient pas venus deux heures plus tôt; que l'homme dont ils parlent est passé le matin même, mais qu'ils sont chargés par lui de recueillir toutes les observations qu'on voudra leur faire; que si donc ils ont quelque chose à dire, il est tout disposé à le lui transmettre. Je sais seulement, ajoute le lettré, qu'il désire beaucoup savoir, dans tous ses détails, la manière dont on obtient le cuivre blanc dans votre mine, il veut avoir de votre cuivre, de votre charbon: car avant de se décider, il veut tout examiner de près. C'est un homme très-instruit dans les lettres, qui a lu tous les livres qui parlent de cuivre. Si les procédés que vous employez sont de son goût, je vous félicite, votre fortune est faite; car trois cents chevaux ne porteraient pas tout l'argent qu'il possède. Oh! quel ébahissement! quelle ineffable jouissance! Au moment où l'ivresse excitait ces transports de joie, survient l'aubergiste (qui sans nul doute avait bien gardé le secret); instruit de ce qui se passe, il s'associe généreusement à la commune allégresse, et il est convenu que peu d'instants après les ouvriers vont expliquer longuement et complétement au lettré les procédés les plus ingénieux de la mine. C'est ce qui a eu lieu, messieurs, et ce sont surtout les renseignements puisés à cette source que je vais écrire. Cependant, j'ai fait consulter aussi ailleurs; j'ai interrogé moi-même certains ouvriers. Leurs dépositions sont assez uniformes; il y a quelques divergences néanmoins, comme j'aurai soin de le faire remarquer. J'entrerai en matière par quelques réflexions générales, dans lesquelles je n'ai d'autre mérite que celui de traducteur.

De mémoire d'homme, on sait que le *Yûn-Nân* a produit du cuivre blanc, et les lingots qu'on en a conservés sont d'un grain plus moelleux, plus fin et beaucoup plus dur que celui qu'on obtient aujourd'hui. On ne peut s'expliquer cette déchéance dans la qualité du cuivre. Ce ne fut que dans la sixième année de l'empereur *Kièn-Lông*, qui répond à l'an 1747 de l'ère chrétienne, qu'on ouvrit des mines de cuivre blanc dans cette partie du *Sé-Tchoùàn* où sont situées les mines de *Lì-Mâ-Hô*, *Loù-Tchăng*, *Lì-Kŷ-Tchàn* et *Lôu-Kôu-Tchăng*, qui, bien que dépendantes du *Sé-Tchoùàn* quant au territoire, relèvent du *Yûn-Nân* quant à l'exploitation. Les anciennes mines du *Yûn-Nân* sont épuisées; mais on en découvre continuellement de nouvelles.

Selon la minéralogie chinoise, il n'y a ni cuivre blanc ni cuivre jaune de sa nature ; l'un et l'autre sont le produit du travail de l'homme. Choses égales d'ailleurs, l'exploitation du cuivre blanc est la plus coûteuse. Le cuivre de sa nature est rouge.

De l'aveu unanime des ouvriers, l'opération par laquelle on obtient le cuivre blanc est extrêmement capricieuse, si on peut parler ainsi ; soumise à des influences occultes dont il est impossible de déterminer la nature. Il est rare que le même ouvrier, employant les mêmes procédés dans des conditions identiques, réussisse de la même manière. Les uns croient à l'influence de la lune, d'autres à l'état de l'atmosphère ; il en est qui soupçonnent l'influence du vent, de l'eau ; il en est un même qui semblerait avoir entrevu nos courants électriques. En suivant bien la recette, on obtient cependant toujours du cuivre blanc ; seulement la qualité varie beaucoup.

Voici maintenant cette recette telle qu'on me l'a donnée :

1° Quand la mine est sortie de terre, on la place sur du bois peu importe de quelle espèce ; on la recouvre ensuite avec d'autre bois de même qualité, puis on y met le feu. A la mine de *Lóu-Kóu-Tchăng*, il faut répéter cette opération sept fois ; dans d'autres mines, cinq fois seulement ; on en voit même où trois fois suffisent ; il n'y a que l'expérience qui puisse apprendre le nombre de fois requis par la nature de telle ou telle mine. Ensuite on réduit cette mine ainsi chauffée en poussière, à grains plus ou moins gros. On prend de cette poussière 700 livres (la livre chinoise a 16 onces), on la place dans un grand fourneau sur une couche de charbon de terre et de charbon de chêne mélangés ; on la recouvre avec le même mélange de charbon de terre et de charbon de chêne, en somme 1.500 livres de charbon ; puis on met le feu ; mais cela ne se répète pas et n'a lieu qu'une seule fois. Si la mine est bonne, il y aura de 220 à 300 livres de cuivre. C'est la première partie de l'opération.

2° Le cuivre est alors en lingot brut et informe. A partir de ce moment on ne se sert plus du grand fourneau qui a été employé dans la première partie de l'opération ; on le remplace par quatre petits fourneaux. Mais ce qu'il importe beaucoup plus de remarquer, au rapport, ici surtout, très-unanime des ouvriers, c'est qu'on ne doit plus employer ni le charbon de terre ni le charbon de chêne ; il est absolument requis de n'employer plus que le charbon de sapin. On prend donc de ce

lingot brut et informe 80 livres; on place 20 livres dans chacun des quatre petits fourneaux qu'on chauffe avec du charbon de sapin. Si le lingot est bon, chaque petit fourneau donnera un peu plus de 12 livres de cuivre, en somme 50 livres. C'est la deuxième partie de l'opération.

3° Alors on prend deux de ces quatre morceaux du poids d'environ 27 livres, on les jette au feu en y mêlant 5 livres du meilleur cuivre rouge que l'on puisse trouver. On chauffe fortement, et, si l'opération est bonne, on obtient 9 livres de cuivre. C'est la troisième partie de l'opération.

Tous ces préparatifs terminés, on prend du cuivre obtenu dans la deuxième partie de l'opération 3 livres, du cuivre obtenu dans la troisième partie de l'opération également 3 livres, du meilleur cuivre rouge que l'on puisse trouver 2 livres 1/2, en somme 8 livres 1/2, et on les jette dans le fourneau. On chauffe fortement. Quand on voit apparaître comme des fleurs blanches, on jette au milieu du cuivre qui va entrer en fusion une once D'ÉTAIN; et alors, presque instantanément, le cuivre devient blanc, très-blanc, et si l'opération est bonne on obtient 4 livres 1/2.

Je viens de dire un mot qui a besoin d'explication. *On jette*, ai-je dit, *au milieu du cuivre qui va entrer en fusion une once* D'ÉTAIN. Mais ne me trompé-je point sur la nature du métal que j'appelle ÉTAIN? Non-seulement je n'ose pas l'assurer: je crois même que ce métal n'est pas l'étain que j'ai vu en France. Les Chinois, outre l'or, l'argent, le cuivre et le fer, comptent au nombre des métaux le plomb; mais, selon eux, le plomb est de trois espèces: 1° le plomb proprement dit qu'ils appellent *sĭ*; 2° l'étain ordinaire qu'ils nomment *yuên*; 3° enfin ce qu'ils appellent *kien* et qui est l'espèce de métal absolument requise, selon eux, pour la confection du cuivre blanc. Mais qu'est-ce que le *kien*? Il a sans doute un nom français que je ne connais pas ou qui ne me revient pas. Il n'y a point de mine de ce kien (lisez kiénne); ce métal est mêlé à l'argent et surnage quand l'argent est en fusion dans le fourneau; il a la couleur et presque la pesanteur du plomb; mais il est beaucoup moins susceptible d'être fondu. Du reste, comme je suis persuadé que le premier ouvrier européen connaît ce métal, je ne me suis point mis l'esprit à l'alambic pour trouver son nom; je me contente d'en déposer un petit morceau dans la boîte jointe à cette lettre; il occupe la case n° 1... Tous les

ouvriers conviennent que le *kien* est nécessaire pour obtenir le cuivre blanc.

Autre point sur lequel l'avis des ouvriers est unanime : c'est que pour recevoir le cuivre en fusion, il faut faire une espèce de chaudron en terre ; le fond du chaudron doit être plat, et la terre doit nécessairement venir de *Lỳ-kỳ-Tchân*. J'ai été surpris moi-même de l'opiniâtreté avec laquelle les ouvriers insistent sur ce point. Quoi que je puisse penser par devers moi, j'ai cru plus prudent d'envoyer un peu de cette terre qu'un de mes hommes est allé prendre lui-même à *Lỳ-kỳ-Tchân ;* elle occupe dans la boîte la case n° 2.

Je ne reviendrai pas sur ce que j'ai dit des trois espèces de charbon requises pour l'opération dont on obtient le cuivre blanc. Je n'ai entendu aucun ouvrier élever le moindre doute sur la nécessité du charbon de sapin ; tous, au contraire, assurent que sans ce charbon on n'obtiendra jamais de cuivre blanc. *Videant europæi doctores!*

Les ouvriers du *Lòu-hòu-Tchăng* avaient dit à mon lettré que pour bien réussir dans la troisième partie de l'opération telle que je la décris dans cette lettre, il fallait *absolument* avoir du cuivre rouge venu de *Lóu-Tchăng* de la mine si célèbre de *Kĭn-yuín*. Ceci me parut surprenant. Pour obtenir de nouveaux renseignements, j'envoyai un matin inviter à dîner un ancien ouvrier que l'on disait très-versé dans ces matières. Mon commissionnaire revint moins de deux heures après en me disant que les mineurs de *Lòu-kòu-Tchăng* étaient à ma poursuite, dans ce sens qu'ils voulaient à toute force me ramener chez eux pour me décider à exploiter leur cuivre. Ce ne fut que dans la nuit qu'on put arriver jusqu'à l'ouvrier que j'avais envoyé chercher le matin. Je l'interrogeai moi-même sur l'opération telle que je l'ai décrite et qu'il confirma par son témoignage. Mais lui ayant demandé si le cuivre rouge de *Kĭn-yuín* était nécessaire pour obtenir du cuivre blanc, il fut moins affirmatif que les ouvriers de *Lòu-kòu-Tchăng*, et dit : Non, le cuivre de la mine *Kĭn-yuín* n'est pas absolument nécessaire ; mais il faut avouer qu'il est infiniment supérieur à tous les autres cuivres rouges de ces pays-ci ; je vous conseille de vous en servir..... Sur ce, j'ai envoyé à la mine même de *Kĭn-yuín* acheter quelques onces chinoises de ce cuivre rouge et je les dépose dans la boîte à la case n° 3.

Les mines de cuivre blanc sont de deux espèces : il en est où

la mine se trouve en bloc; il en est d'autres où la mine se trouve en poussière; cette dernière est sans contredit la meilleure, selon les ouvriers de *Lŷ-kŷ-Tchân* où il y a beaucoup de cette mine en poussière, et sans contredit la moins bonne d'après les ouvriers de *Lôu-kôu-Tchăng*, où il n'y en a pas. Mais pour qu'on puisse mieux les distinguer, si par hasard quelqu'un avait l'envie d'étudier cette matière, je joins à ma lettre une certaine quantité des deux mines: celle en bloc au n° 4, celle en poussière au n° 5 (1). On connaîtra très-vite, disent les ouvriers, si la mine est ou n'est pas de bonne qualité; si elle est de qualité inférieure, dès qu'on l'a chauffée une fois, elle est ronde et raboteuse; si elle est de bonne qualité, elle prend plutôt une forme carrée, et sa surface est polie et douce au toucher; j'en envoie un petit morceau déposé dans la case n° 6...; chauffée une deuxième fois elle donne le n° 7.

Tels sont, messieurs, les renseignements que j'ai pu obtenir sur le cuivre blanc. Sont-ils de nature à mériter l'attention? sont-ils tous exacts? sont ils complets?... En suivant la marche que j'ai indiquée, d'après les ouvriers chinois, obtiendra-t-on pareillement du cuivre blanc dans les autres pays? Ce sont des questions que je suis loin de vouloir résoudre et auxquelles l'expérience seule pourra répondre. Quoi qu'il en soit, je m'estimerai très-heureux si vous daignez recevoir ces quelques notions, sinon comme une découverte curieuse et intéressante pour l'industrie européenne, du moins comme un témoignage de la vive reconnaissance dont vos bienfaits ont pénétré le cœur des missionnaires et de la déférence empressée avec laquelle ils se soumettront à vos désirs.

Veuillez agréer, etc. † JOSEPH-MARIE,
évêque de Sébastopolis, coadjuteur

---

### Renseignements sur la situation des mines d'argent et de cuivre du Chili, et sur le mouvement d'exportation de leurs produits en 1840 et en 1852.

Avant 1832, la province de Coquimbo, de laquelle dépendait alors le département de Copiapo, n'avait presque pas d'importance. Les nombreuses mines d'argent et de cuivre qu'elle renferme étaient à peine connues et exploitées. L'agri-

(1) Les échantillons annoncés ne sont pas encore parvenus à leur destination. C.

culture y était dans un état complet de stagnation. L'importation des marchandises étrangères était aussi très-limitée, car la population, éloignée d'un contact immédiat avec Valparaiso, ne s'était pas encore créé les besoins qu'elle satisfait aujourd'hui. Quelques étoffes de coton, un peu de soierie et de draps, tels étaient les seuls articles que fournissait à cette province le commerce étranger. Mais, depuis lors, chaque année a apporté un nouveau développement à sa prospérité agricole, et les nouvelles mines découvertes chaque jour l'ont rendue la province la plus riche du Chili.

Avant 1840, on n'exploitait dans le pays que des minerais contenant des oxydes sulfureux de cuivre, connus sous le nom de *metales de color*, qui étaient traités dans les fourneaux à manche adoptés au Chili depuis le temps des Espagnols, tandis que maintenant les fourneaux à réverbère, introduits par les étrangers, sont d'un usage général, et servent à fondre toute espèce de minerais.

Le bois, très-rare dans cette province, a été bientôt consommé; mais on l'a remplacé avec succès par le charbon de terre, et cette amélioration est due à un de nos nationaux, M. Lambert, qui, le premier, en a fait sentir les avantages.

Postérieurement, en 1848, une compagnie anglaise, sous la raison *Chilian Smelting Company*, et dirigée par M. Allison, a établi dans le port de *las Herraduras*, à 2 kilomètres de Coquimbo, seize fourneaux à réverbère constamment en activité, qui réduisent annuellement en cuivre de 80.000 à 100.000 quintaux de minerai.

La même compagnie a encore fondé deux ou trois autres établissements du même genre dans le port de Tongoy.

Enfin, à Coquimbo même, sur le bord de la mer, MM. Edwards et Lambert possèdent des établissements de la plus grande importance, et tous offrent les résultats les plus avantageux, principalement dans cette dernière classe, où le cuivre a été payé jusqu'à 23 piastres le quintal (115 francs).

Telle est la situation des mines de cuivre. Si l'on passe ensuite à celles d'argent de Copiapo, on y remarque chaque année de nouvelles découvertes d'une telle richesse, qu'on peut dire que chaque partie du Chili a été à peine effleurée jusqu'ici.

Les deux bateaux à vapeur qui entrent par mois à Valparaiso, apportent de 30 à 40.000 marcs d'argent, c'est-à dire de 300 à 350.000 piastres (1.500.000 à 1.750.000 francs).

Ces immenses résultats, obtenus en quelques années, sont dus en grande partie à la paix intérieure dont a joui le Chili depuis 1830, et qui n'a été troublée qu'un instant lors de la dernière élection présidentielle. Il faut aussi les attribuer aux sages institutions qu'a mises en vigueur un gouvernement ferme et éclairé, à une grande liberté accordée à l'industrie, et à une plus grande consommation des produits agricoles du territoire.

*État de l'exportation en cuivre, mattes et minerais du port de Coquimbo, pendant l'année* 1852.

| EXPORTATION PAR NAVIRES. | CUIVRE. | MATTES. | MINERAIS. |
|---|---|---|---|
| | quintaux. | quintaux. | quintaux. |
| Sous pavillon anglais. . . . . . . | 24 967,45 (*a*) | 52.073,23 (*d*) | 143.728,99 (*h*) |
| *Id.* des Etats-Unis. . . | 37.903,03 (*b*) | » | 4.575,22 (*i*) |
| *Id.* prussien. . . . . . | » | 578,22 (*e*) | 2.352,00 (*j*) |
| *Id.* suédois . . . . . . | 1.702,16 (*c*) | 543,23 (*f*) | 8.015,03 (*k*) |
| *Id.* chilien. . . . . . . | » | 4.960,11 (*g*) | 10.202,95 (*l*) |
| Totaux. . . . | 64.572,67 | 58.154,79 | 168.874,19 |

(*a*) et (*b*) Destinés exclusivement pour l'Angleterre.
(*c*) 12.390q,70 destinés pour Baltimore et 131.338q,29 pour l'Angleterre.
(*d*) 1.250 quintaux destinés pour Canton et 36.653q,03 pour les États-Unis.
(*e*) Destinés exclusivement aux États-Unis.
(*f*) et (*g*) Destinés au port de Hambourg.
(*h*) 278q,96 pour la destination de Swansea et 1.423q,21 pour Calcutta.
(*i*) Destinés pour Swansea.
(*j*) Pour la destination de Liverpool.
(*k*) Dite destination.
(*l*) Même destination.

*État des minerais embarqués dans le port de la Caldera, pendant l'année* 1852.

| DATES. | ARGENT en barres. | MINERAIS d'argent. | MINERAIS de cuivre. |
|---|---|---|---|
| 1852. | marcs. | quintaux. | quintaux. |
| Janvier. . . . . . . | 1.570 | 440,00 | 17.230,00 |
| Février. . . . . . . . | 26.160 | 1.763,50 | 3.081,00 |
| Mars. . . . . . . . . | 37.200 | » | » |
| Avril. . . . . . . . . . | 29.955 | 7.179,03 | 336,00 |
| Mai. . . . . . . . . . . | 33.358 | 20.880,50 | » |
| Juin. . . . . . . . . . | 29.501 | 6.625,08 | 246,00 |
| Juillet. . . . . . . . | 44.350 | 3.549,77 | 1.387,25 |
| Août. . . . . . . . . . | 45.510 | 6.411,99 | 5.311,00 |
| Septembre. . . . . . . | 44.500 | 5.200,18 | 971,75 |
| Octobre. . . . . . . . | 37.779 | 15.950,18 | 15.560,50 |
| Novembre. . . . . . . | 41.066 | 10.429.90 | » |
| Décembre. . . . . . . | 29.866 | 32,321,18 | 9.334,25 |
| Totaux. . . . | 400.815 | 110.751,31 | 53.457,75 |

*État de l'exportation en cuivres, mattes et minerais du port de Coquimbo, pendant l'année* 1840.

| EXPORTATION PAR NAVIRES. | CUIVRE. | MATTES. | MINERAIS. | ARGENT en barres. |
|---|---|---|---|---|
| | quintaux. | quintaux. | quintaux. | marcs. |
| Sous pavillon français..... | 3.002,63 | » | 4.179,00 | » |
| *Id.* anglais....... | 12.153,42 | 3.244,12 | 35.129,02 | 7.587 |
| *Id.* des Etats-Unis. . | 19.708,88 | » | » | 3.034 |
| *Id.* danois....... | » | » | 5.164,12 | » |
| *Id.* brémois...... | 1.108,44 | 16,00 | 584,00 | » |
| *Id.* hambourgeois. . | » | 2.140,77 | 4.237,90 | » |
| Totaux. . . . | 35.973,37 | 5.400,89 | 49.294,04 | 10.620 |

(*Communication de M. Cazotte, consul de France à Santiago, à M. le ministre des affaires étrangères, en date du* 14 *juillet* 1853.)

---

## Rapport du gouverneur de la province de Cordoue (Nouvelle-Grenade) sur les mines enregistrées et classées dans cette province, du 5 janvier 1852 au 30 juillet 1853.

C'est à la facilité avec laquelle les inventeurs obtiennent aujourd'hui toute protection, et peuvent entrer en possession et recevoir leurs titres de propriétés, que j'attribue, en grande partie, le nombre prodigieux des mines signalées dans la courte période de dix-huit mois.

Un fait qui doit attirer l'attention de M. le secrétaire d'état, c'est que les échantillons déposés au siége du gouvernement portent les caractères de morceaux extraits de filons riches et bien formés. A d'autres époques, un aveugle empirisme dirigeait seul les opérations des spéculateurs; aujourd'hui, ils fondent leurs calculs sur les lumières et l'expérience.

Jusqu'au temps actuel, on n'exploitait dans ces provinces d'autres gisements que les alluvions aurifères; l'exploitation des filons était inconnue. En 1825, il se forma en Angleterre une société au capital d'un million de livres sterling; cette compagnie acheta les gisements de minerai d'argent de Santa-

Ana, province de Mariquita, et ceux d'or de la Baja et de Marmato, dans les provinces de Pampelune et du Cauca. A Marmato, on construisit, sous la direction du premier directeur, M. J.-B. Boussingault, des bocards et des porphyres (*arrastra*), on ouvrit des galeries souterraines; en un mot, on commença ces travaux méthodiques, qui devaient, sous peu, donner une si puissante impulsion aux riches exploitations de l'Ancienne Antioquia, dont jusqu'alors on n'avait pas soupçonné l'influence future sur la richesse de ce territoire étendu et des familles qui l'habitent. M. Jyrell Moore, employé de la compagnie, vint à Antioquia en 1829, et fit construire le premier bocard à Luisbrass, district de Santa-Rosa de Osos. De cette époque datent les véritables progrès de l'exploitation des mines dans l'Antigua Antioquia, ainsi que l'évidente augmentation de la richesse publique, et celle de la fortune des nombreuses personnes qui, grâce à cette industrie naissante, sont devenus d'importants capitalistes.

En l'année 1836, la compagnie anglaise avait un déficit dans ses fonds de 2.100.000 piastres. La perte était grande; mais, par compensation, le canton de Salamina se développait et prospérait, parce que ses habitants fournissaient à l'établissement de Marmato des denrées et des travailleurs. Après avoir accepté leurs services, l'administration anglaise remplit de bonne foi ses engagements, et ce fut une source de prospérité pour les propriétaires et les ouvriers du pays. Nous possédons actuellement des ouvriers du pays, lesquels savent construire parfaitement les bocards, les moulins à porphyriser, et les pompes d'épuisement pour travailler dans les ruisseaux et dans les mines d'extraction profonde. C'est une nouvelle carrière ouverte aux artisans laborieux et intelligents, lesquels comme machinistes, trouvent dans les ateliers des salaires considérables qui les mettent à même de devenir actionnaires, et en quelque sorte propriétaires.

L'opinion de plusieurs étrangers importants, bien versés dans les grandes affaires, est que le travail des journaliers du pays est plus économique et plus avantageux que le labeur des ouvriers d'autres nations, lesquels absorbent de fortes sommes pour leur voyage, et qu'on ne peut facilement congédier, à cause des contrats passés avec eux. Cet avertissement peut être utile pour les entrepreneurs dont les projets se portent sur cette province. Dans les cantons de Rio-Negro, de Sala-

mina et de Marinilla, qui forment la province de Cordoue, on rencontre d'excellents ouvriers de mine, que l'on peut renvoyer sans difficulté lorsqu'ils ne remplissent pas leurs devoirs.

Un des grands avantages à signaler aux étrangers qui pensent à former des spéculations et à s'établir dans la Nouvelle-Grenade, est que, malgré notre perpétuelle inconstance et les alternatives de nos institutions et de nos lois, ils y sont toujours respectés, tant qu'ils ne s'ingèrent pas dans les affaires politiques; et qu'ils restent spectateurs neutres et indifférents.

Les lois du 30 mai 1846 et du 31 mai 1849 permirent l'exportation de l'or fondu, avec diverses entraves qui restreignaient ce genre de commerce. La loi du 30 avril 1850 laissa aux chambres provinciales la liberté de grever ou de laisser libre l'exportation de l'or en poudre. En vertu de cette faculté, la dernière législature de l'Antigua Antioquia a déclaré libre de tout impôt ou charge le commerce de l'or, sous quelque forme qu'il soit extrait ou qu'il circule sur les marchés du pays. Cette mesure, bienfaisante pour le commerce, laisse un vide dans les revenus des provinces; il appartient aujourd'hui aux chambres respectives de peser ses avantages et ses inconvénients.

Il existe actuellement dans la province de mon gouvernement diverses entreprises importantes auxquelles on travaille avec activité. Dans mon canton, on exploite la mine la Léona; dans celui de Marinilla celles de Santa-Rita, et dans le canton de Salamina celles du Rio-Dulce et la mine de la Purima, qui compte cinq moulins à broyer. Les entrepreneurs ont investi de fortes sommes dans l'établissement, mais toutes les probabilités sont favorables, et l'on croit que ceux-ci se trouveront bientôt indemnisés, et qu'ils obtiendront des gains considérables.

L'avenir de la province de Cordoue est brillant sous le rapport de la richesse minérale, et l'on s'attend à voir bientôt mettre en exploitation les ruisseaux de Naré, de Samana et de la Caldéra, ainsi que d'autres points qui appellent l'attention par leur richesse.

*Tableau ou relevé du nombre des mines enregistrées dans la province de Cordoue, du 5 janvier 1852 au 30 juillet 1853.*

| CANTON de Rio-Negro. | CANTON de Marinilla. | CANTON de Salamina. | ENTRE divers districts. | TOTAUX. | CLASSIFICATION. |
|---|---|---|---|---|---|
| Rio-Negro. . . . . 6 | Marinilla. . . . . . 2 | Souson. . . . . . . 16 | Entre Rio-Negro et Marinilla. . . 3 | Rio-Negro. . . . . 88 | |
| Retiro. . . . . . . . 24 | Ceja de Guatapé. . 21 | Abejorral. . . . . . 46 | | Marinilla. . . . . . 79 | |
| Sabaletas. . . . . . 1 | San Carlos. . . . . 36 | Aguadas. . . . . . . 14 | | | |
| Santa Bárbara. . . 1 | Canoas. . . . . . . 13 | Neira. . . . . . . . 11 | Entre Rio-Negro et San Vicente. . 1 | Salamina. . . . . . 91 | Mines en filons. . . 205 |
| Ceja del Zambo. . 14 | Vahos. . . . . . . . 3 | Manizales. . . . . . 2 | | | |
| San Vicente. . . . 14 | Cocorná. . . . . . . 2 | Pácora. . . . . . . 2 | | | |
| Concepcion. . . . 18 | Cármen. . . . . . . 2 | Salamina. . . . . . » | Entre Concepcion et Guatapé. . . . 1 | Entre différents districts. . . . . 5 | Alluvions aurifères. 58 |
| Guarne. . . . . . . 9 | Peñol. . . . . . . . » | | | | |
| | Santuario. . . . . . » | | | | |
| Total. . . . 88 | Total. . . . 79 | Total. . . . 91 | Total. . . . 5 | Total. . . 268 | Total égal. . . 268 |

Il a été expédié 71 titres, en conséquence desquels il est entré aux revenus provinciaux une somme de 1.846 piastres.

(*Extrait de la* GAZETTE OFFICIELLE *de la Nouvelle-Grenade, 1er août 1853.*)

## Sur la découverte d'un gisement de houille dans les Philippines.

L'administration de la marine vient de soumettre à l'examen d'une commission, nommée à cet effet, les échantillons de charbon de terre provenant de gisements considérables de ce minéral découverts, il y a quelque temps, dans l'île de Cébu, et que S. Ex. le capitaine général, accompagné du surintendant et des chefs des principaux services administratifs, était allé reconnaître dans sa dernière tournée de l'archipel.

Les expériences opérées en grand sur des bateaux à vapeur de la marine espagnole ont produit des résultats assez satisfaisants pour donner lieu de regarder l'existence de ces dépôts houillers comme pouvant offrir, lorsqu'on en aura convenablement organisé l'exploitation, une ressource précieuse à la navigation à vapeur dans ces mers, où le combustible atteint, à cause des frais de transport et des risques considérables, des prix qui, jusqu'à ce moment, ont rendu impossible l'établissement d'un service régulier entre Manille et les autres ports en communication avec l'Europe et l'Amérique.

Le charbon de Cébu a le défaut d'être bitumineux ; il en résulte qu'il brûle avec une certaine difficulté, engorge les grilles des fourneaux et dégage une épaisse fumée qui, par la quantité de suie qu'elle dépose, exige le fréquent ramonage des cheminées. Il résulte de ces différentes circonstances un surcroît de travail pour les chauffeurs, et par conséquent, pour un service égal, un excédant de frais qui doit être couvert par la différence du prix. Néanmoins, ce charbon brûle et produit assez de chaleur pour pouvoir être utilement employé. On espère, d'ailleurs, qu'à mesure qu'on pénétrera dans les couches intérieures, on trouvera du charbon plus pur.

La plus grande difficulté sera de l'obtenir à un prix qui lui permette de soutenir la concurrence avec les charbons de Bornéo. Jusqu'à présent, les petites quantités qu'on en a extraites sont revenues, rendues à Manille, à 8 piastres le tonneau, prix pour lequel on peut se procurer à Singapour du charbon de Bornéo, qui, sans être comparable aux charbons d'Europe pour la qualité, est cependant préférable à celui de Cébu. Il faudrait donc trouver le moyen d'abaisser les frais d'extraction, et c'est là que les efforts des administrateurs

courent grand risque d'échouer devant la résistance d'inertie que leur opposent la nonchalance, la paresse des naturels et leur aversion pour un travail suivi. « L'Indien, » me disait le brigadier D. Ramon de Acha, commandant général de la marine, « ira à la mine travailler un jour ou deux avant un di» manche ou une fête, afin de gagner quelques réaux pour » aller les jouer aux combats de coqs; le reste du temps, il » aime mieux se contenter d'une poignée de riz! » Il reste la ressource du travail des condamnés qui ne produit que de bien médiocres résultats.

Cependant on ne peut douter que, dans un avenir plus ou moins rapproché, les mines de Cébu ne deviennent pour les Philippines une source importante de revenu. Le voisinage de la Chine met à la portée du gouvernement de la colonie une armée de travailleurs infatigables et intelligents; et dès qu'il voudra s'occuper de rendre réellement productifs les trésors que la nature a semés d'une main si prodigue dans cet archipel, encore bien imparfaitement exploré, il lui suffira d'encourager l'immigration de ce peuple laborieux. Ce serait peut-être, d'ailleurs, le seul moyen de tirer les naturels de l'apathie où les plonge la trop grande facilité qu'ils trouvent à satisfaire leurs besoins de première nécessité, et de les arracher aux vices qu'engendrent chez eux une vie livrée entièrement à l'oisiveté et à la mollesse.

Le gouvernement vient de faire partir pour Cébu un entrepreneur, accompagné de quelques ouvriers, pour commencer un essai d'exploitation. J'aurai l'honneur d'informer votre excellence des résultats de cette tentative, qui intéresse à un haut degré le commerce et la navigation.

*(Extrait d'une dépêche de M. Codrika, consul de France à Manille, en date du 2 août 1853.)*

---

# TABLE DES MATIÈRES

## DU TOME QUATRIÈME.

### MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE.



MÉTALLURGIE ET MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE.— EXPLOITATION.



CONSTRUCTION ET CHEMINS DE FER.

BULLETIN.

(2e semestre 1853.)

# EXPLICATION DES PLANCHES

## DU TOME QUATRIÈME.

---

FIN DU TOME QUATRIÈME.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C^e^, RUE RACINE, 26.

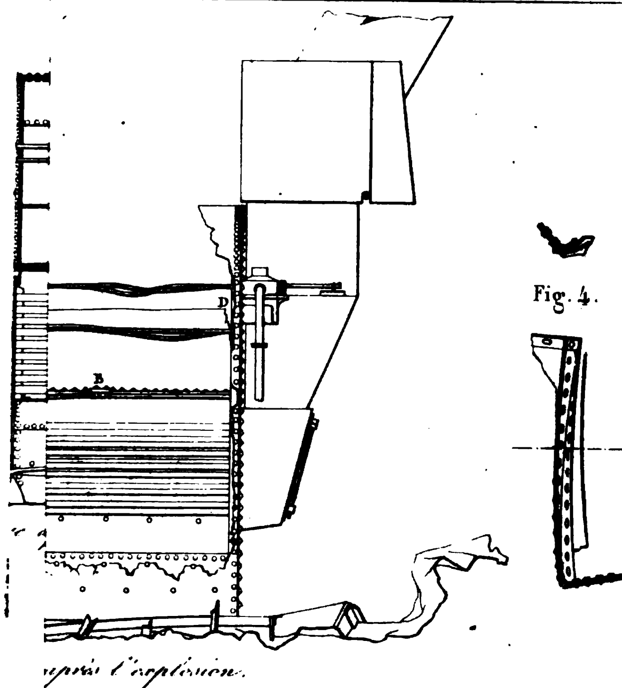
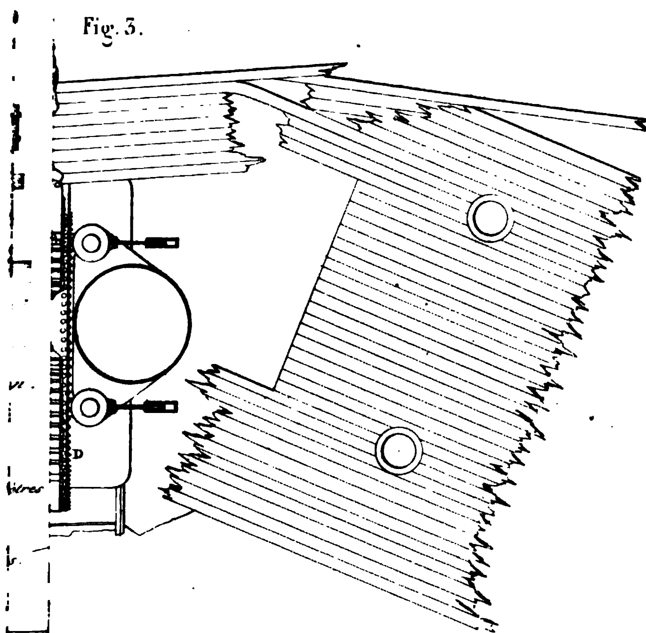


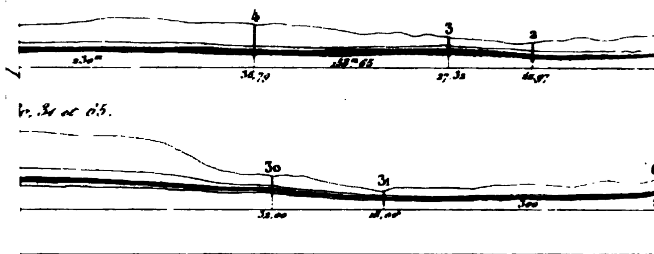

Fig. 4.

Fig. 3.




Lemaitre sc.





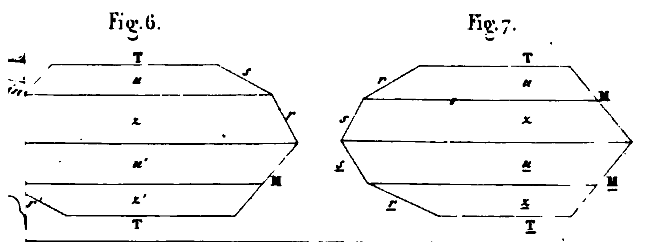


Fig. 6. Fig. 7.

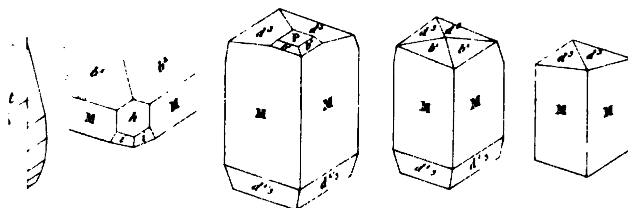
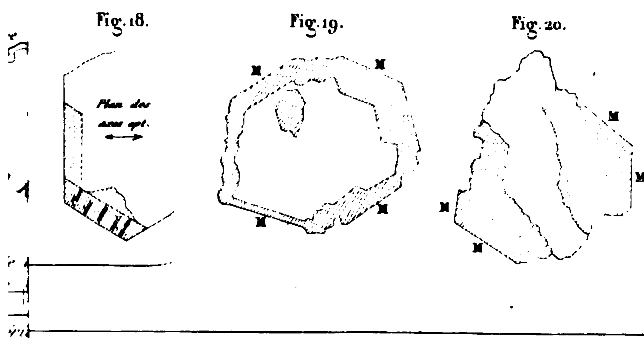
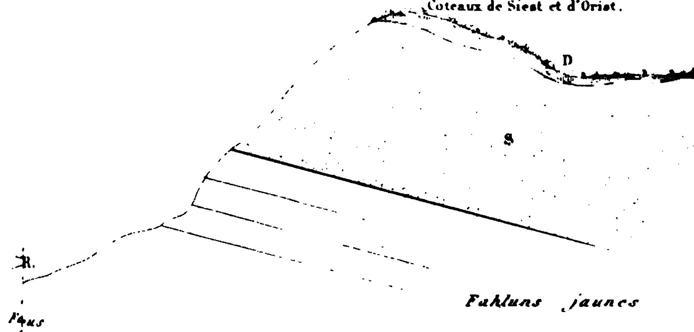


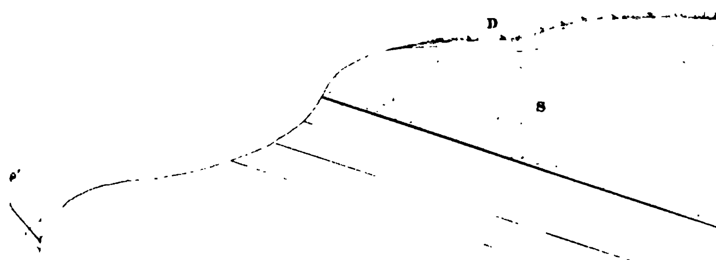
Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13. Fig. 14.

Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20.

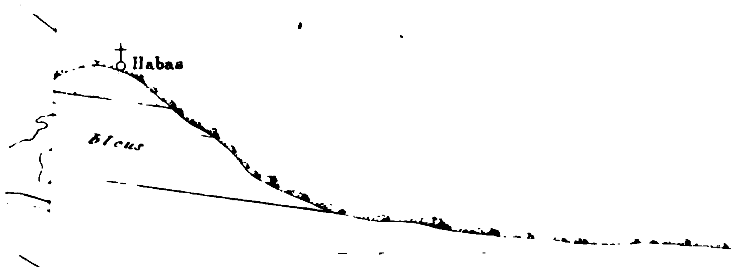


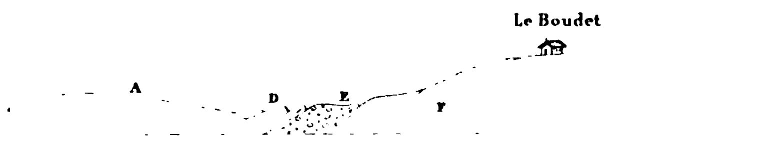

Lemaitre sc.




*Fahluns bleus*




Lemaître sc

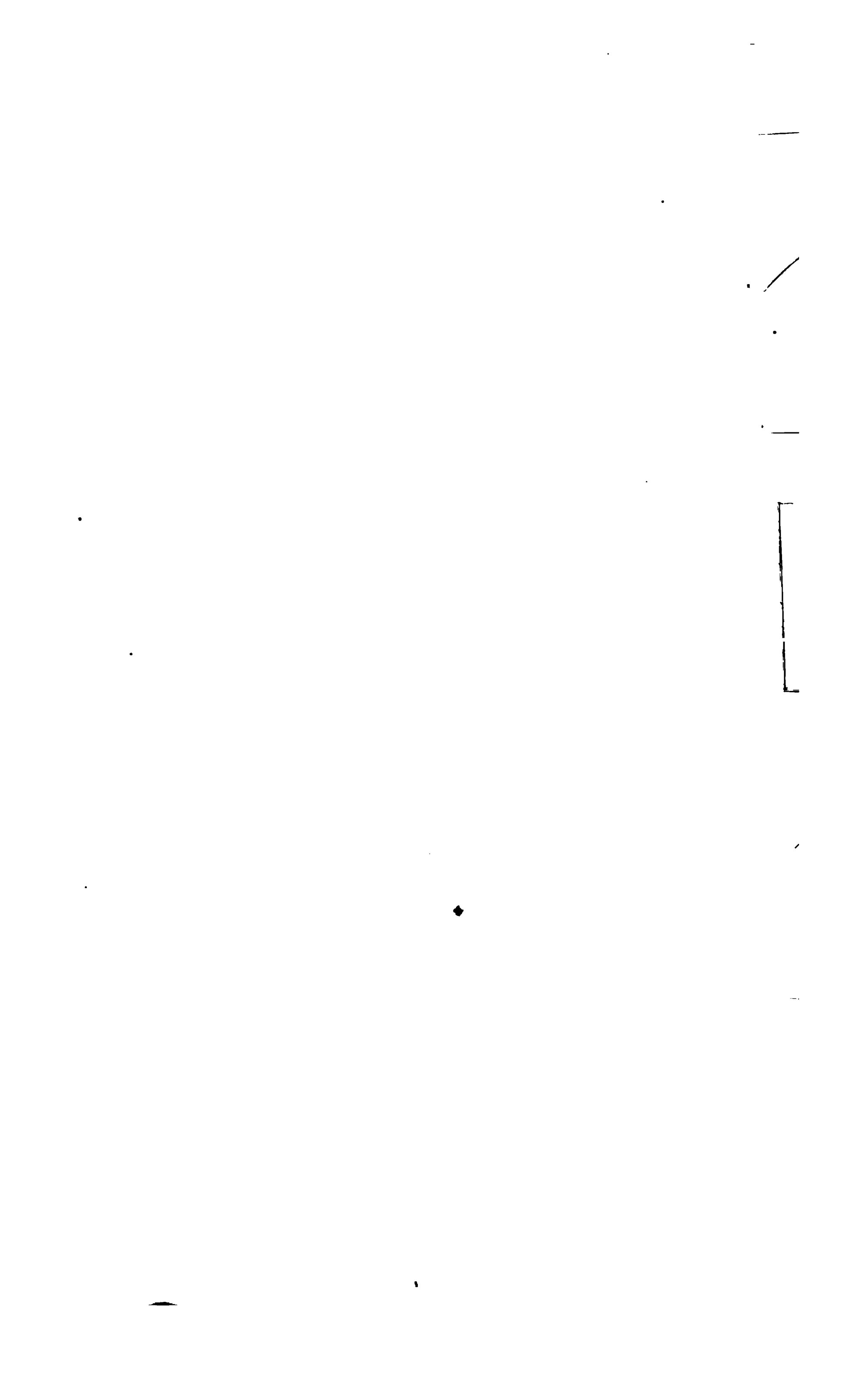


Fig. 3.

*Plan à hauteur du foyer*

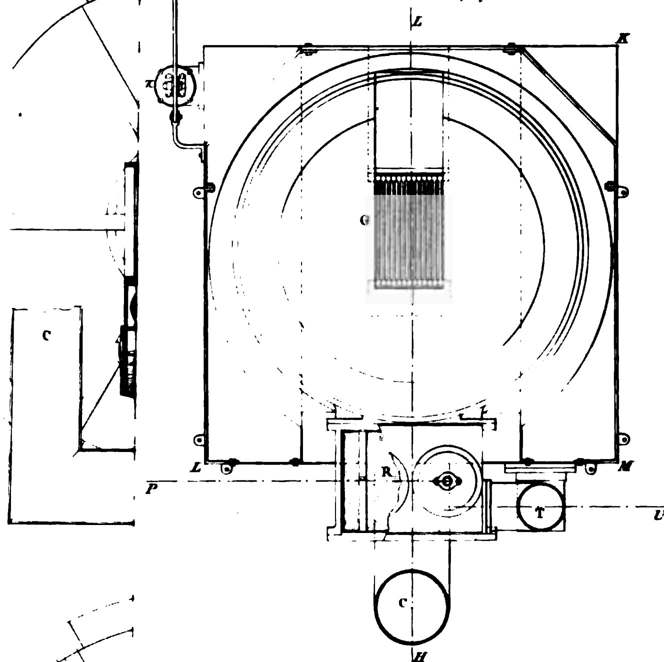
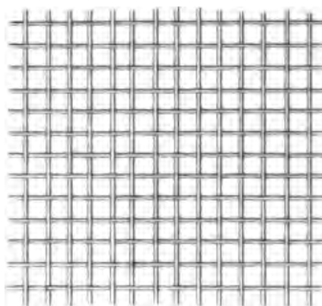
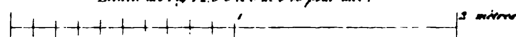


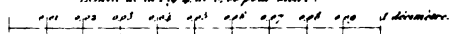

Fig. 4.



*Echelle des Fig. 1. 2. 3. 5. et 6. de 0.m 03 pour mèt.*

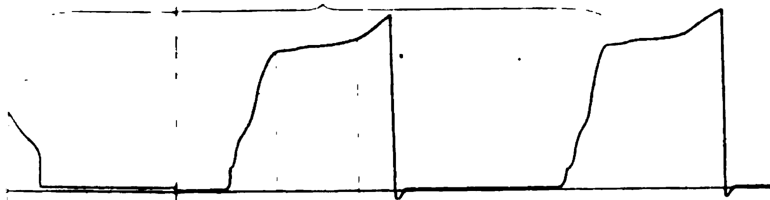



*Echelle de la Fig. 4. de 0.m 30 pour mètre.*



*Courbe-taire de la machine.*

Fig. 4.



Fig

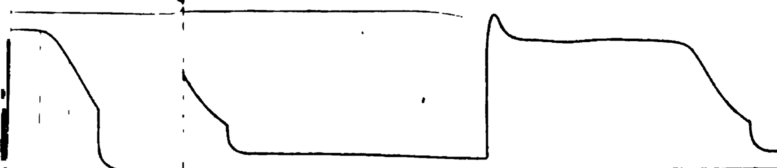


Fig. 6.

